

Universidade Nova de Lisboa

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Departamento de Ciências e Tecnologia do Ambiente

ANÁLISE DE PAVIMENTOS DE PARQUES INFANTIS FEITOS COM GRANULADOS DE PNEUS USADOS.

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL RISCO PARA A SAÚDE DAS CRIANÇAS.

Maria da Conceição Furtado Brito

**Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade
Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente
Perfil Engenharia Sanitária.**

Orientadora: Professora Doutora Maria da Graça Madeira Martinho

Lisboa, 2009

DEDICATÓRIA

Ao meu filho pela paciência e pelos momentos de carinho que me deram força.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho só foi possível graças ao contributo de algumas pessoas a quem quero prestar o meu agradecimento.

Em primeiro lugar, à Professora Doutora Graça Martinho, minha orientadora, por toda a ajuda, orientação e disponibilidade.

Quero também agradecer:

- à Engenheira Dora Gervásio, da empresa Valorpneu, pelas informações dadas e pelo tempo disponibilizado;
- ao Engenheiro António Pedreiro, da empresa Recipneu, pelas informações, tempo e amostras cedidas gentilmente;
- à Arquitecta Milva de Magalhães Maggioni, da empresa Fernando L. Gaspar, pelo tempo, pela ajuda, pelas informações e amostras fornecidas;
- à Biosafe pelo envio das amostras;
- à colega Ana Margarida Gomes, pela ajuda e pelo material fornecido;
- à Técnica de laboratório Maria José Correia, da Faculdade de Ciências e Tecnologia, pela ajuda no laboratório;
- à Técnica de laboratório Carla Rodrigues, da Faculdade de Ciências e Tecnologia, pelas análises realizadas aos lixiviados, muito obrigada;
- à equipa de Conservação e Restauro, da Faculdade de Ciências e Tecnologia, pela ajuda com o ensaio de fotoradiação, muito obrigada.

Por último, mas não menos importante, à minha mãe, aos meus irmãos e amigos que acreditaram que iria conseguir e deram-me ânimo para continuar.

~ vi ~

SUMÁRIO

No decorrer da gestão de pneus usados, o fim que se pode dar aos mesmos passam pela reutilização, a recauchutagem, a reciclagem e a valorização energética, sendo actualmente proibida a sua deposição em aterro, excepto se forem utilizados como material de protecção das telas.

Tendo sido levantada recentemente na comunidade científica a questão do potencial risco dos pneus reciclados poderem libertar alguns metais pesados, especialmente Cd, considerou-se importante avaliar se os pavimentos destinados a parques infantis que incorporam granulados de pneus reciclados, originam ou não a libertação de metais pesados quando sujeitos à acção de determinados factores ambientais, em concentrações que possam colocar em risco o ambiente ou a saúde das crianças e jovens.

Para o efeito realizaram-se ensaios de lixiviação a amostras de granulados de pneus usados com diferentes granulometrias, produzidos por processos diferentes em duas empresas nacionais, e a amostras de pavimentos das cores mais utilizadas em parques infantis. Realizaram-se ainda, para as amostras de pavimentos de parques infantis, ensaios de fotoradiação seguidos de novos ensaios de lixiviação. Com estes ensaios procurou-se avaliar o risco de libertação de determinados metais pesados quando sujeitos à acção da chuva e da radiação solar.

A análise realizada aos metais pesados presentes nos eluatos dos primeiros ensaios de lixiviação revelou que as concentrações de Cd, Cr, Pb e Sn, em todas as amostras analisadas, são praticamente insignificantes ou nulas, pelo que, relativamente a estes metais, não existe qualquer risco para a saúde das crianças que brincam em parques infantis que utilizam este tipo de pavimentos.

Já em relação ao Zn e ao Cu, foram detectadas pequenas concentrações em praticamente todas as amostras sujeitas ao primeiro ensaio de lixiviação, verificando-se um aumento considerável destas concentrações nos eluatos do segundo ensaio de lixiviação realizado às amostras de pavimentos sujeitas a fotoradiação. Embora os valores obtidos se encontram muito abaixo dos valores reportados noutros estudos, o facto do ensaio de fotoradiação ter correspondido apenas ao efeito da radiação solar equivalente a cerca de 2 meses deixa em aberto a questão de um potencial risco de contaminação para o ambiente e para a saúde das crianças que acidental ou voluntariamente ingeram água contaminada com as escorrências destes pavimentos, recomendando-se que se realizem estudos mais aprofundados e sobre este assunto.

Palavras-chave: Pneus usados; Metais pesados; Lixiviação.

ABSTRACT

During the management of used tires, so that you can give the same pass through reuse, retreading, recycling and energy recovery, is currently prohibited from landfill unless they are used as shielding material of the screens.

Having been raised recently in the scientific community to question the potential risk of recycled tires may release some heavy metals, especially Cd, it was considered important to assess whether the floors of the playgrounds that incorporate recycled tire granules, originating or not the release of heavy metals when subjected to the action of certain environmental factors, at concentrations that might endanger the environment or the health of children and young people.

For this purpose took place leaching tests on samples of granules of tires with different grain sizes produced by different processes in two national companies, and floors samples of colors used in playgrounds. There were still, for samples of floors of playgrounds, tests UV radiation followed by further tests of leaching. With these tests were used to determine the risk of release of certain heavy metals when subjected to the action of rain and solar radiation.

The assessment of heavy metals in the eluates of the first leaching tests showed that concentrations of Cd, Cr, Pb and Sn in all samples, are practically negligible or zero, so that, for these metals, there is no risk to the health of children playing in playgrounds that use this type of flooring.

In relation to Zn and Cu were detected small concentrations in virtually all samples subjected to the first leaching test and there is a considerable increase in concentration in the eluates of the second leaching test performed on samples of floors subject to UV radiation. Although the values are well below the values reported in other studies, that the UV radiation test have responded only to the effect of solar radiation equivalent to about 2 months leaves open the question of a potential risk of contamination to the environment and the health of children who accidentally or deliberately ingest water contaminated with the runoff of these floors is recommended that further research and on this subject.

Keywords: Used tires, heavy metals, leaching.

SIMBOLOGIA E NOTAÇÕES

ACAP	Associação do Comercio Automóvel de Portugal
ANIRP	Associação Nacional dos Industriais de Recauchutagem de Pneus
APIB	Associação Portuguesa dos Industriais de Borracha
Aprox.	Aproximadamente
BLIC	Bureau de Liaison des Industries du Caoutchouc
Art.	Artigo
BRAG	ETRMA Risk Assessment Working Group
CAA	Clean Air Act
CAP	Compostos Aromáticos Policíclicos
Cd	Cádmio
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
Cr	Crómio
DEHP	di (2-etilhexil) ftalato
DL	Decreto-Lei
DQ	Directiva-Quadro
EM	Estados – Membros
EPA	Environmental Protection Agency
ETRMA	European Tyre & Rubber Manufacturers' Association
HAP	Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
ICP-AES	Espectrometria de Emissão Atómica por Plasma Acoplado Induzido ("Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry")
LECA	Agregados de argila expandido ("Lightweight Expanded Clay Aggregate")
LER	Lista Europeia de Resíduos

Max.	Máximo
NOx	Óxidos de Azoto
OAD	Óleos Aromáticos Densos
Pb	Chumbo
PERSU I	Plano Estratégico dos Resíduos Urbanos
PN	Pneus Novos
PU	Pneus Usados
REACH	Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals
rpm	Rotações por minuto
SGPU	Sistema Integrado de Gestão de Pneus Usados
Signus	Sistema - Integrado de Gestão de Neumáticos Usados
SIRER	Sistema Integrado de Registo Electrónico de Resíduos
Sn	Estanho
SO ₂	Dióxido de Enxofre
SOx	Óxidos de Enxofre
UE	União Europeia
UN/ECE	Económica para a Europa das Nações Unidas
UV	Ultra-Violeta
VMR	Valor Máximo Recomendado
Zn	Zinco
ZnO	Óxido de Zinco

ÍNDICE DE MATÉRIAS

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO	3
1.2 RELEVÂNCIA	4
1.3 OBJECTIVOS	4
1.4 METODOLOGIA GERAL	5
1.5 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	5
CAPÍTULO 2 – IMPACTES DA UTILIZAÇÃO DE PNEUS USADOS	7
2.1 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM PNEU	9
2.2 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE UM PNEU	13
2.3 IMPACTES NO AMBIENTE E NA SAÚDE PÚBLICA	18
2.4 POLÍTICA E LEGISLAÇÃO COMUNITÁRIA E NACIONAL APLICADAS A PNEUS USADOS	30
2.4.1 Europeia	30
2.4.2 Nacional	35
2.5 SITUAÇÃO EUROPEIA	39
2.6 SISTEMAS DE GESTÃO DE PNEUS USADOS	45
2.6.1 Caso de Portugal	45
2.6.2 Caso de Espanha	54
2.6.3 Caso de França	56
2.7 REUTILIZAÇÃO, RECAUCHUTAGEM E TECNOLOGIA DE VALORIZAÇÃO DE PNEUS	58
2.7.1 Reutilização	59
2.7.2 Recauchutagem	60
2.7.3 Reciclagem	62
2.7.4 Valorização energética	64
CAPÍTULO 3 - DESCRIÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO	65
3.1 NOTA PRÉVIA	67
3.2 RECIPNEU	67
3.3 BIOSAFE	70
3.4 FERNANDO L. GASPAR	71
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA, MATERIAIS E MÉTODOS	75
4.1 OBJECTIVOS E HIPÓTESES	77
4.2 SELECÇÃO E CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS	78
4.3 PLANEAMENTO EXPERIMENTAL	80
4.4 MÉTODOS, MATERIAIS E PROCEDIMENTOS	82
4.4.1 Determinação da humidade	82
4.4.2 Ensaio de lixiviação	83
4.4.3 Ensaio de fotoradiação e lixiviação	87
CAPÍTULO 5 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	89
5.1 HUMIDADE DAS AMOSTRAS SUJEITAS AOS ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO	91
5.2 RESULTADOS DO PRIMEIRO ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO	92
5.3 RESULTADOS DO SEGUNDO ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO APÓS FOTORADIAÇÃO	95
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
ANEXOS	115
ANEXO I – MÉTODO ANALÍTICO - ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO ATÓMICA POR PLASMA ACOPLADO INDUZIDO ..	117
ANEXO II – RESULTADOS DO PRIMEIRO ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO	120

ANEXO III - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO ATÓMICA POR PLASMA ACOPLADO INDUZIDO DO PRIMEIRO ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO.	124
ANEXO IV – RESULTADOS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS METAIS ANALISADOS POR ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO ATÓMICA POR PLASMA ACOPLADO INDUZIDO DO PRIMEIRO ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO	131
ANEXO V – RESULTADOS DO SEGUNDO ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO	135
ANEXO VI – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO ATÓMICA POR PLASMA ACOPLADO INDUZIDO DO SEGUNDO ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Identificação da estrutura do pneu.	11
Figura 2.2. Esquema do ciclo de vida do pneu usado.	14
Figura 2.3. Identificação do ciclo de vida do pneu.....	18
Figura 2.4. Esquema da gestão ambiental integrada.	32
Figura 2.5. Factores determinantes para a redução da produção de resíduos de pneus.....	37
Figura 2.6. Estados-membros criadores do BLIC.	40
Figura 2.7. Estados-membros que fazem parte da actual ERTMA.	40
Figura 2.8. Países com implementação de sistemas de gestão dos pneus em fim de vida.	42
Figura 2.9. Ciclo de vida do pneu usado tendo em conta o fluxo de material e o fluxo económico.	45
Figura 2.10. Competências da entidade gestora segundo o DL n.º 111/2001, de 6 de Abril.	46
Figura 2.11. Aplicação do Ecovalor do SGPU.....	48
Figura 2.12. Modelo de funcionamento do SGPU.	49
Figura 2.13. Fluxo material e financeiro dos pneus usados em Portugal.	50
Figura 2.14. Representação esquemática da logística inversa.....	51
Figura 2.15. Evolução da distribuição dos pneus usados processados por tipo de destino, de 2005 a 2008.....	53
Figura 2.16. Modelo de funcionamento do Signus.	56
Figura 2.17. Modelo de funcionamento da Aliapur.....	58
Figura 2.18. Estrutura tetraédrica usada no recife artificial.	59
Figura 2.19. Estrutura de protecção de molhes marítimos utilizando pneus usados.	59
Figura 2.20. Estrutura de protecção de barcos utilizando pneus usados.	59
Figura 2.21. Estrutura de protecção da zona costeira.	59
Figura 2.22. Exemplo de muro de retenção.....	60
Figura 2.23. Aplicação do concreto em torno de fardos de pneus, e bloco de concreto como produto final.....	60
Figura 2.24. Parede de ECOFLEX em bacia de retenção.....	60
Figura 2.25. Execução de um relvado e num campo de golf.	60
Figura 2.26. Caracterização genérica da logística de funcionamento das empresas de recauchutagem.	61
Figura 2.27. Sistema séptico de drenagem.....	63
Figura 2.28. Superfícies de parques infantis utilizando granulados de PU.	63
Figura 3.1. Vista aérea das instalações da Recipneu e sua localização no mapa.....	68
Figura 3.2. Encaminhamento dos pneus usados para a fragmentadora.	68
Figura 3.3. Equipamento para remoção dos aros metálicos dos pneus usados.	68
Figura 3.4. Chips de pneus usados.	68
Figura 3.5. Túnel criogénico.....	69
Figura 3.6. Moinhos de martelos.	69
Figura 3.7. Aplicações dos granulados criogénicos produzidos pela Recipneu.	70
Figura 3.8. Aplicações dos granulados produzidos pela empresa Biosafe.	71
Figura 3.9. Possíveis aplicações dos pavimentos tipo placas comercializadas pela Fernando L. Gaspar.	72
Figura 3.10. Características físicas dos pavimentos tipo placa, comercializadas pela Fernando L. Gaspar.....	72
Figura 3.11. Espessuras adoptadas para os pavimentos amortecedores Kraiburg Relastec GMBH / Euroflex - Placas de acordo com as alturas de queda.	73
Figura 3.12. Pavimento com conectores.....	74
Figura 3.13. Pavimento sem conectores.....	74
Figura 3.14. Pavimentos com níveis distintos de compressão.	74
Figura 4.1. Esquema de selecção das amostras da Fernando L. Gaspar.	79
Figura 4.2. Esquema de selecção das amostras da Biosafe e da Recipneu.....	79
Figura 4.3. Esquema da sequência dos procedimentos experimentais.....	80
Figura 4.4. Agitador mecânico em funcionamento.....	84

Figura 4.5. Sequência do primeiro ensaio de lixiviação realizados às amostras.	85
Figura 4.6. Software JY v5.4 - controlo automático de todos os parâmetros.	86
Figura 4.7. Painel de controlo do <i>SolarBox</i>	87
Figura 4.8. Sequência do segundo ensaio de lixiviação realizado aos pavimentos infantis.	88
Figura 5.1. Média do pH e da condutividade das amostras em estudo para o primeiro ensaio de lixiviação.	93
Figura 5.2. Concentração final de Zinco em mg/kg peso seco no primeiro ensaio de lixiviação.	94
Figura 5.3. Concentração final de Cobre em mg/kg peso seco no primeiro ensaio de lixiviação.	95
Figura 5.4. Média do pH e da condutividade das amostras em estudo para o segundo ensaio de lixiviação.	96
Figura 5.5. Concentração final de Zinco em mg/kg peso seco no segundo ensaio de lixiviação.	97
Figura 5.6. Concentração final de Cobre em mg/kg peso seco no segundo ensaio de lixiviação.	98
Figura A.1. Sistema de introdução da amostra para plasma radial.	117
Figura A.2. Espectro obtido da análise semi-quantitativa.	118
Figura A.3. Determinação da curva de calibração.	118
Figura A.4. Espectro definido na análise de uma amostra.	119
Figura A.5. Regressão linear para a calibração do Cd do primeiro ensaio de lixiviação.	128
Figura A.6. Regressão linear para a calibração do Cr do primeiro ensaio de lixiviação.	128
Figura A.7. Regressão linear para a calibração do Cu do primeiro ensaio de lixiviação.	129
Figura A.8. Regressão linear para a calibração do Pb do primeiro ensaio de lixiviação.	129
Figura A.9. Regressão linear para a calibração do Sn do primeiro ensaio de lixiviação.	130
Figura A.10. Regressão linear para a calibração do Zn do primeiro ensaio de lixiviação.	130
Figura A.11. Regressão linear para a calibração do Cd do segundo ensaio de lixiviação.	137
Figura A.12. Regressão linear para a calibração do Cr do segundo ensaio de lixiviação.	137
Figura A.13. Regressão linear para a calibração do Cu do segundo ensaio de lixiviação.	138
Figura A.14. Regressão linear para a calibração do Pb do segundo ensaio de lixiviação.	138
Figura A.15. Regressão linear para a calibração do Sn do segundo ensaio de lixiviação.	139
Figura A.16. Regressão linear para a calibração do Zn do segundo ensaio de lixiviação.	139

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1. Exemplos de gamas de pesos de diferentes tipos de pneus.	11
Quadro 2.2. Pesos médios unitários por categoria de pneus.	12
Quadro 2.3. Comparação da composição material de pneus de automóveis de passageiros e pesados na União Europeia.	12
Quadro 2.4. Compostos químicos presentes nos pneus.	12
Quadro 2.5. Período de vida útil de diferentes categorias de pneus.	13
Quadro 2.6. Cenários analisados no estudo da SDAB (1994) relativo à análise do ciclo de vida da utilização de pneus usados.	17
Quadro 2.7. Resultados do estudo do ciclo de vida do pneu usado.	17
Quadro 2.8. Resumo das emissões totais de compostos orgânicos, resultante da queima de dois pneus de diferentes tamanhos (simulação laboratorial).	20
Quadro 2.9. Emissões de alguns metais, resultante da queima de pneus (simulação laboratorial).	21
Quadro 2.10. Resultados da avaliação de risco ambientais e de saúde pública, decorrentes da utilização de pneus usados.	27
Quadro 2.11. Utilização de pneus usados pela CIMPOR.	37
Quadro 2.12. Destino dos pneus usados nalguns países da C.E.E. para 1990.	38
Quadro 2.13. Países com implementação de sistemas de gestão dos pneus em fim de vida, entidade gestora, ano de implementação e responsabilidade.	43
Quadro 2.14. Quantidades totais de pneus novos, em número de unidades, colocadas no mercado nacional durante o período de 2005 a 2008, no âmbito do SGPU gerido pela Valorpneu.	52
Quadro 2.15. Quantidades totais, em número de unidades, de pneus usados gerados durante o período de 2005 a 2008, no âmbito do SGPU gerido pela Valorpneu.	52
Quadro 3.1. Gama de granulados produzidos pela Recipneu.	70
Quadro 3.2. Gama de granulados produzidos pela Biosafe.	71
Quadro 4.1. Resumo das características das amostras analisadas.	80
Quadro 4.2. Cronograma do trabalho prático.	81
Quadro 4.3. Condições de operação do ICP-AES.	85
Quadro 5.1. Resultados obtidos e determinação da humidade (%).	91
Quadro 5.2. Resumo do ensaio de lixiviação decorridos 24h.	92
Quadro 5.3. Determinação das concentrações dos metais pesados nas amostras secas.	94
Quadro 5.4. Determinação do tempo real de radiação após fotoradiação no <i>SolarBox</i>	95
Quadro 5.5. Resumo do segundo ensaio de lixiviação decorridos 24h.	96
Quadro 5.6. Determinação das concentrações dos metais pesados nas amostras secas para o segundo ensaio de lixiviação.	97
Quadro 5.7. Acréscimo de metais nos eluatos.	98
Quadro 5.8. Concentrações de Cu e Zn obtidas em ensaios de lixiviação com granulados de pneus realizados por outros autores.	99
Quadro A.1. Resultados totais dos ensaios de lixiviação.	120
Quadro A.2. Resultados totais das análises de ICP-AES do primeiro ensaio de lixiviação.	124
Quadro A.3. Valor de intensidade e concentração do Cd do primeiro ensaio de lixiviação.	128
Quadro A.4. Valor de intensidade e concentração do Cr do primeiro ensaio de lixiviação.	128
Quadro A.5. Valor de intensidade e concentração do Cu do primeiro ensaio de lixiviação.	129
Quadro A.6. Valor de intensidade e concentração do Pb do primeiro ensaio de lixiviação.	129
Quadro A.7. Valor de intensidade e concentração do Sn do primeiro ensaio de lixiviação.	130
Quadro A.8. Valor de intensidade e concentração do Zn do primeiro ensaio de lixiviação.	130
Quadro A.9. Resultados estatísticos dos metais pesados do primeiro ensaio de lixiviação.	131
Quadro A.10. Resultados totais do pH, condutividade e temperatura do segundo ensaio de lixiviação.	135
Quadro A.11. Resultados totais análises de ICP-AES do segundo ensaio de lixiviação.	136
Quadro A.12. Valor de intensidade e concentração do Cd do segundo ensaio de lixiviação.	137
Quadro A.13. Valor de intensidade e concentração do Cr do segundo ensaio de lixiviação.	137
Quadro A.14. Valor de intensidade e concentração do Cu do segundo ensaio de lixiviação.	138

Quadro A.15. Valor de intensidade e concentração do Pb do segundo ensaio de lixiviação.....	138
Quadro A.16. Valor de intensidade e concentração do Sn do segundo ensaio de lixiviação.....	139
Quadro A.17. Valor de intensidade e concentração do Zn do segundo ensaio de lixiviação.....	139

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

O âmbito de realização deste trabalho centra-se sobretudo no mercado português de pneus e o seu Sistema Integrado de Gestão de Pneus Usados (SGPU).

A Valorpneu, empresa responsável pelo SGPU surgiu em Fevereiro de 2002, com o objectivo de organizar e gerir o sistema de recolha e valorização de pneus usados. Após a recolha dos pneus usados, estes podem ter diferentes destinos: a reutilização, a recauchutagem, a reciclagem e a valorização energética, sendo actualmente proibida a sua deposição em aterro, excepto se forem utilizados como material de protecção das telas, em relação ao destino final em aterros (Valorpneu, 200c).

A recauchutagem é praticada em Portugal há aproximadamente 50 anos, com circuitos comerciais e logísticos muito bem definidos. As recauchutadoras actualmente efectuem a recauchutagem maioritariamente de pneus pesados.

Relativamente à valorização de pneus, actualmente centra-se sobretudo na actividade de reciclagem, para produção de granulados de pneus, realizada por três empresas, a Biosafe (Ovar), a Recipneu (Sines) e a Biogoma (Santarém). As duas primeiras operam no mercado há mais tempo e efectuem a reciclagem dos pneus por processos distintos, a Biosafe por processo mecânico e a Recipneu por processo criogénico. Relativamente a Biogoma, ela apenas surgiu no mercado nacional há menos de um ano.

A valorização energética dos pneus usados consiste na sua utilização em duas cimenteiras nacionais, a Secil, S.A. (Fábrica de Outão) e a CMP, S.A. (Fábrica de Pataias), como combustível alternativo para produção de energia, aproveitando o poder calorífico do pneu e poupando desta forma o consumo de combustíveis fósseis.

Os granulados de pneus usados, que resultam do processo de reciclagem, têm aplicações diversas, nomeadamente para o enchimento de campos de relva sintética, de campos desportivos e recreativos, incorporação em pisos destinados à prática da equitação e para incorporação em pavimentos para parques infantis.

Existem no mercado nacional várias empresas que comercializam pavimentos que incorporam estes granulados. Uma delas é a empresa Fernando L. Gaspar, que comercializa os pavimentos amortecedores KRAIBURG. A KRAIBURG RELASTEC GMBH é reconhecida internacionalmente como uma das empresas de maior sucesso no ramo de pavimentos

sintéticos de segurança, e utiliza 90% de materiais recicláveis na produção dos seus pavimentos, incluindo os destinados aos parques infantis.

1.2 RELEVÂNCIA

Recentemente foram publicados alguns artigos e notícias que questionavam a segurança e alertavam para os possíveis riscos para o ambiente e/ou saúde pública da reciclagem/reutilização de pneus usados, em especial os resultantes da presença de cádmio, por ser um dos constituintes dos pneus (Waste, 2008).

A base desta problemática consiste na antiga produção de pneus, que incluía o uso de aditivos na sua produção, dando origem a componentes perigosos nos pneus. Contudo, presentemente persiste a discussão se devem ou não ser considerados resíduos perigosos.

Atendendo às possíveis aplicações dos granulados de pneus reciclados em pisos sintéticos, considerou-se que havendo algum risco para a saúde, o grupo de risco mais importante seria o das crianças e jovens, que frequentam os parques infantis que têm este tipo de pavimentos.

Sobre a análise da presença de metais pesados em granulados de pneus ou em pavimentos de parques infantis existe muito pouca informação internacional e não se encontrou nenhuma nacional. É pois relevante que se avalie a presença de metais pesados neste tipo de produtos, em amostras nacionais, e se avalie se há ou não algum risco para a saúde das crianças e jovens que frequentam os parques infantis que têm este tipo de pavimentos.

1.3 OBJECTIVOS

O principal objectivo desta dissertação consiste em avaliar se os granulados de pneus reciclados, utilizados no fabrico de pavimentos amortecedores de parques infantis e os próprios pavimentos, contêm ou não alguns metais pesados que possam representar um potencial risco para o ambiente e para a saúde das crianças e jovens que brincam nos parques infantis que têm este tipo de pavimentos.

Em concreto, constituem objectivos práticos desta dissertação:

1. Determinar a presença e concentração de metais pesados em amostras nacionais de granulados de pneus e de pavimentos infantis que incorporam esses granulados;

2. Avaliar sobre os potenciais riscos para a saúde das crianças e jovens que frequentam os parques infantis que têm este tipo de pavimentos;
3. Verificar se os diferentes processos de produção de granulados de pneus (*i.e.* mecânico *vs* criogénico) têm algum efeito em termos da concentração de metais pesados presentes nos eluatos;
4. Comparar os resultados obtidos com as amostras nacionais com os resultados obtidos por outros autores com amostras de outros países.

1.4 METODOLOGIA GERAL

Em termos metodológicos, e para atingir os objectivos propostos, o trabalho foi estruturado em duas principais fases.

Uma primeira parte teórica, que consistiu numa pesquisa documental em livros, relatórios técnicos, teses, artigos científicos, actas de conferências e legislação, disponibilizados em suporte papel ou formato electrónico, sobre os temas relacionados com a gestão dos pneus usados, nomeadamente legislação, sistemas integrados de gestão, impacte no ambiente e na saúde da utilização de pneus usados e processos de reutilização e valorização de pneus.

E uma segunda parte prática, que consistiu na realização de ensaios de lixiviação com amostras de granulados de pneus produzidos em duas empresas recicladoras nacionais (Recipneu e Biosafe) e amostras de pavimentos de parques infantis comercializados por uma empresa nacional (Fernando L. Gaspar). Estes ensaios de lixiviação tiveram por objectivo simular a acção da chuva sobre estes materiais. Fez-se a determinação do pH, condutividade e metais pesados presentes nos eluatos destes ensaios. As amostras de pavimentos foram ainda sujeitas a um ensaio de fotoradiação, para simular o efeito da radiação solar, seguido de novo ensaio de lixiviação e determinação do pH, condutividade e metais pesados presentes no respectivo eluato.

1.5 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se organizada em seis capítulos. No primeiro capítulo é abordado o enquadramento e a relevância do tema. São ainda expostos os principais objectivos desta dissertação, bem como a metodologia utilizada para a concretização destes objectivos e a estrutura da dissertação.

No segundo capítulo faz-se a revisão bibliográfica sobre a definição e caracterização dos pneus e pneus usados, análise do ciclo de vida de um pneu, impactes no ambiente e na saúde pública, política e legislação comunitária e nacional aplicados a pneus usados, situação europeia, caracterização do sistema de gestão de pneus usados, reutilização, recauchutagem e tecnologia de valorização de pneus.

O terceiro capítulo apresenta uma breve descrição dos casos de estudo (*i.e.* Recipneu, Biosafe e Fernando L. Gaspar), abordando os aspectos relacionados com a sua localização, tecnologia e tipo de materiais produzidos e comercializados.

No quarto capítulo descreve-se a metodologia utilizada na parte prática, os objectivos e hipóteses formuladas, a selecção e características das amostras, o planeamento experimental, os métodos, materiais e procedimentos realizados.

O quinto capítulo consiste na análise e discussão dos resultados relativos aos ensaios de lixiviação (*i.e.* granulados e pavimentos), e fotoradiação seguida de lixiviação (*i.e.* pavimentos dos parques infantis), na determinação dos metais.

No sexto capítulo é apresentada uma síntese conclusiva sobre os ensaios.

CAPÍTULO 2 – IMPACTES DA UTILIZAÇÃO DE PNEUS USADOS

2.1 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM PNEU

Um pneu é considerado como novo quando, depois de produzido, é direccionado para os pontos de venda, onde são posteriormente vendidos aos consumidores, quer individuais quer grandes empresas de produção automóvel.

De acordo com o art. 2º do Decreto-Lei n.º 111/2001, de 6 de Abril, entende-se por pneus:

“(...) os pneus utilizados em veículos motorizados, aeronaves, reboques, velocípedes e outros equipamentos, motorizados ou não motorizados, que os contenham”,

e por pneus usados:

“(...) quaisquer pneus de que o respectivo detentor se desfaga ou tenha a intenção ou a obrigação de se desfazer e que constituam resíduos na acepção da alínea a) do art. 3º do Decreto-Lei n.º 239/1997, de 9 de Setembro, ainda que destinados a reutilização (recauchutagem)”.

Os pneus usados (PU) são classificados, segundo a Lista Europeia de Resíduos (LER), publicada na Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março, como resíduos não perigosos e classificados com o código 16 01 03. Mas quando não são retirados previamente dos Veículos em Fim-de-Vida, podem também fazer parte desse fluxo, sendo desta forma classificados com o código 16 01 04.

“O pneu é um produto composto de vários materiais com propriedades muito diferentes, cujo fabrico implica uma grande precisão” (Valorpneu, 2009a). Na Figura 2.1 apresenta-se a constituição de um pneu.

Os componentes indicados na Figura 2.1 apresentam as seguintes características e/ou funcionalidades:

- ✓ Um **talão** que “permite que o pneu fique solidário com a jante. É constituído com um núcleo de arame de aço, envolto em borracha” (Campos, 2006). “Tem como função transmitir os binários do motor e de travagem da jante à área de contacto com o solo” (Valorpneu, 2009a);
- ✓ Uma **capa de borracha sintética** “constituída por uma camada que permite a impermeabilidade ao ar e substitui as câmaras-de-ar. Uma camada de uma mistura de borracha, normalmente baseada num halo-butil (um poli-isobutileno halogenado, pode ser clorobutil ou bromobutil). Constitui cerca de 12 % do total de borracha do pneu novo” (Campos, 2006);

- ✓ A **carcaça**, que é “constituída por finos cabos de fibras têxteis dispostas em ângulos rectos e colados na borracha. Estes cabos são um elemento chave da estrutura do pneu e permitem-lhe resistir à pressão. Numa carcaça de pneu de automóvel, existem cerca de 1 400 cabos que podem resistir, cada um, a uma força de 15 kg” (Valorpneu, 2009a). “A parte resistente do pneu, deve resistir a pressão, peso e choques. A carcaça retém o ar sob pressão que suporta o peso total do veículo. Os pneus radiais possuem ainda as cintas que complementam a sua resistência” (Brasil Tires, 2009);
- ✓ Os **aros de talão** “servem para fixar o pneu na jante. Podem suportar até 1 800 kg sem risco de ruptura” (Valorpneu, 2009a);
- ✓ O **Ombro** é o apoio do pneu nas curvas e manobras (Brasil Tires, 2009). Também conhecido por flancos de borracha macia “que protegem o pneu contra os choques que poderiam causar danos na carcaça, como pequenos choques contra o passeio, buracos, etc. Uma borracha dura assegura a ligação entre o pneu e a jante” (Valorpneu, 2009a);
- ✓ **Cintas** ou **Lonas de reforço**, “as quais são feitas com cabos de aço muito finos, mas muito resistentes, são cruzadas obliquamente e coladas uma sobre a outra. O cruzamento dos seus fios com os da carcaça forma triângulos indeformáveis” (Valorpneu, 2009a). “Tem como função garantir a área de contacto necessária entre o pneu e o solo” (Brasil Tires, 2009);
- ✓ A **banda de rodagem** é “disposta sobre as lonas de reforço. Esta parte do pneu, que receberá as esculturas, ficará em contacto com a estrada. Na área de contacto com o solo, a banda de rolamento tem que resistir a esforços muito importantes. A mistura que a constitui deve ser aderente em todos os tipos de solos, resistir ao desgaste, à abrasão e aquecer o menos possível” (Valorpneu, 2009a). Para Campos (2006), a banda de rodagem é designada por piso, que representa cerca de 23 % da massa de borracha do pneu novo. É um composto de borracha maciça que, no caso dos veículos ligeiros, é essencialmente estireno-butadieno;
- ✓ As **Paredes laterais** são as laterais da carcaça. “São revestidos por uma mistura de borracha com alto grau de flexibilidade e alta resistência à fadiga” (Brasil Tires, 2009);
- ✓ **Nervura central**, “proporciona um contacto “circunferencial” do pneu com o solo” (Brasil Tires, 2009).

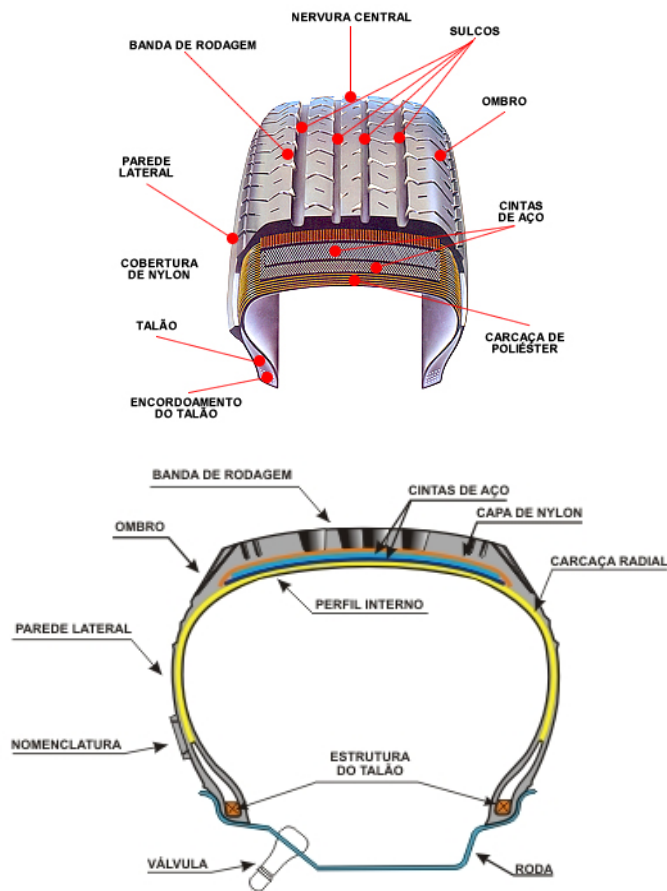


Figura 2.1. Identificação da estrutura do pneu (Brasil Tires, 2009).

Dependendo do tamanho e utilização, os pneus variam no *design*, construção e peso total, como se poderá ver no Quadro 2.1.

No Quadro 2.2 apresentam-se os pesos médios unitários dos pneus novos e usados, indicados no Relatório Anual & Contas de 2005 da Valorpneu (Valorpneu, 2005). Neste Relatório:

“(…) considerou-se para todas as categorias, excepto no E2 (pneus maciços), uma redução média de peso de 12,5 % em relação a um pneu novo idêntico, devido ao desgaste da sua utilização. No caso dos pneus maciços, uma vez que o tipo de utilização implica um desgaste superior, considerou-se uma redução de peso de 40 %”.

Quadro 2.1. Exemplos de gamas de pesos de diferentes tipos de pneus (adaptado de UNEP, 1999).

Tipo de veículo - Pneus	Peso (kg)
Ligeiro de passageiros	6,5 – 9,0
Carrinhas	11,0
Veículos pesados de mercadorias	50,0
Camiões de longo curso	55,0 – 80,0
Veículos agrícolas	100,0

Quadro 2.2. Pesos médios unitários por categoria de pneus (Valorpneu, 2005).

Código Categoria	Categoria	kg/PN	kg/PU
T	Passageiro / Turismo	7,56	6,62
4x4	4x4 on/off road	15,84	13,86
C	Comerciais	13,09	11,45
P	Pesados	60,19	52,67
A1	Agrícolas (diversos)	14,32	12,53
A2	Agrícolas (rodas motoras)	73,97	64,72
E1	Industriais (8" a 15")	26,00	22,75
E2	Maciço	58,69	35,21
G1	Engenharia Civil (< 12.00-24")	59,89	52,40
G2	Engenharia Civil (≥ 12.00-24")	280,40	245,35
M1	Motos (> 50cc)	4,68	4,10
M2	Motos (até 50cc)	0,96	0,84
F	Aeronaves	6,75	5,91

A composição química de um pneu varia ligeiramente se for de um ligeiro ou de um pesado. Aproximadamente 80 % do peso de um pneu de ligeiros e 75 % de um pneu de pesado são compostos de borracha. A composição dos pneus produzidos por diferentes fabricantes é muito semelhante (Valorpneu, 2005).

No Quadro 2.3 é evidenciada a composição física média de pneus de automóveis de passageiros e pesados comercializados na União Europeia (UE).

Quadro 2.3. Comparação da composição material de pneus de automóveis de passageiros e pesados na União Europeia (adaptado de UNEP, 1999).

Material	Pneu ligeiro (%)	Pneu pesado (%)
Borracha / elastómero	47,0	45,0
Carbono negro *	21,5	22,0
Metal	16,5	25,0
Têxteis	5,5	--
Óxido de zinco	1,0	2,0
Enxofre	1,0	1,0
Aditivos	7,5	5,0

* Parte do carbono negro pode ser substituído por sílica em certos tipos de pneus.

Quadro 2.4. Compostos químicos presentes nos pneus (adaptado de UNEP, 1999).

Nome químico	Observações	Conteúdo (% peso)
Compostos de cobre	Liga metálica reforçando a componente do material	Aprox. 0,02
Compostos de zinco	Óxido de zinco, retidos na matriz de borracha	Aprox. 1,0
Cádmio	Em concentrações traço, como compostos de cádmio, substância presente do óxido de zinco	Max. 0,001
Compostos de chumbo	Em concentrações traço, como associado a substância do óxido de zinco	Max. 0,005
Soluções ácidas ou ácidos sob forma sólida	Ácido esteárico no estado sólido	Aprox. 0,3
Compostos orgânicos de outras substâncias	Borracha halogéneo butílico (tendência: a diminuir)	Conteúdo de halogéneos máx. 0,10

Para Shulman (2004), enquanto um pneu pode ter o seu fim-de-vida em qualquer tipo de estrada e em qualquer ponto após a sua produção, os motivos mais comuns para a sua substituição são os acidentes ou o desgaste. O desgaste do pneu é mais evidente na banda de rodagem, embora danos sérios também sejam comuns principalmente devido ao comportamento do condutor ou às condições das estradas. É geralmente aceite que os pneus perdem aproximadamente 20 % do seu peso, principalmente a partir de rodagem em estrada durante o seu período de vida.

No Quadro 2.5 indica-se o tempo de vida útil em estrada de diferentes categorias de pneus produzidos para o mercado europeu.

Quadro 2.5. Período de vida útil de diferentes categorias de pneus (adaptado de Shulman, 2004).

Categoria do pneu	Distância estimada (km)
Ligeiro de passageiros	± 35 000 – 45 000
Carrinhas	± 60 000 – 70 000
Camiões de longo curso	± 180 000 – 200 000

2.2 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE UM PNEU

A análise do ciclo de vida do pneu é de extrema importância para a previsão dos impactes ambientais que este produto poderá ter ao longo do seu ciclo de vida e para a identificação das formas de gestão mais adequadas quando se transforma num resíduo.

A Continental apresentou um estudo para o caso Alemão, elaborado por Krömer *et al.* (1999), com os seguintes objectivos:

- Apresentação do fluxo material e energético em várias fases do ciclo de vida de um pneu;
- Quantificação e avaliação das emissões e dos resíduos que pode originar;
- Identificação dos principais impactes sobre o ambiente durante a vida de um pneu, e possíveis formas de redução da magnitude do potencial impacte ambiental;
- Quantificação do impacte ambiental da utilização de pneus usados (PU) em processos de reciclagem em comparação com a utilização de materiais tradicionais em processos equivalentes.

As fronteiras, entradas e saídas do sistema analisado pelos autores encontram-se representadas na Figura 2.2.

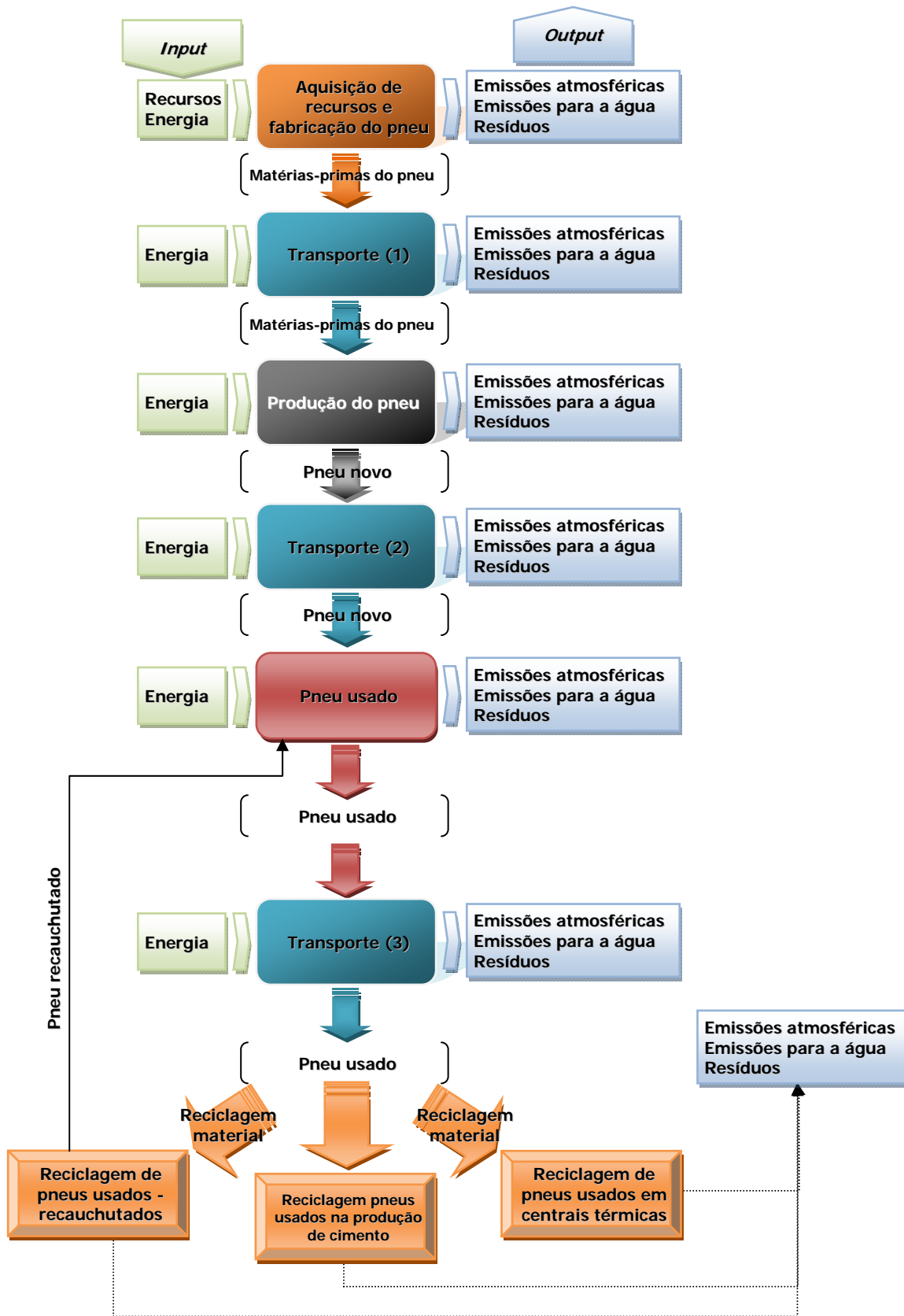


Figura 2.2. Esquema do ciclo de vida do pneu usado (adaptado de Krömer *et al.*, 1999).

Neste estudo, os resultados do inventário do ciclo de vida relativos às entradas do sistema, foram os seguintes:

- **Recursos** - A utilização dos recursos minerais e fósseis originam os inertes, que representam uma matéria-prima. Aproximadamente 88 % de todos os recursos consumidos na vida de um pneu são necessários para a utilização do pneu. A fase de utilização é portanto a fase de maior impacto global. Seguidamente encontra-se a fase de aquisição de matérias-primas, posteriormente a produção e, com um menor impacto, a fase de transporte.
- **Necessidade de ar** - O pneu na fase de utilização representa a maior fatia do consumo global de ar, cerca de 96,5 %. Os outros módulos remanescentes da vida do pneu contam com o seguinte: extracção de matérias-primas aproximadamente 2,2 %, a produção aproximadamente 1,0 % e o transporte aproximadamente 0,2 %.
- **Necessidades de água** - A água é utilizada em todas as fases de vida de um pneu. A maior fatia, aproximadamente 90 %, é necessária para a aquisição de matérias-primas para o pneu. O restante é distribuído da seguinte forma entre as outras fases de vida: cerca de 7,0 % na fase de utilização, cerca de 3,8 % durante o processo de produção e cerca de 0,2 % na fase de transporte.

Relativamente às saídas do sistema, as conclusões foram as seguintes:

- **Emissões atmosféricas** - As emissões atmosféricas são determinadas principalmente pela produção de dióxido de carbono (97 %). O restante consiste em monóxido de carbono (1,2 %) e vapor de água (1,3 %). Outras emissões consideradas são o metano (0,05 %), o óxido de azoto (0,04 %), hidrocarbonetos orgânicos voláteis com a excepção do metano (0,06%), dióxido de enxofre (0,04 %), amoníaco (0,02 %), óxido nitroso (0,01 %) e poeiras (0,17 %). De todas as fases do ciclo de vida de um pneu, a fase de utilização é a que representa maior impacto negativo na atmosfera (cerca de 95,4 %). Esta evolução negativa deve-se quase completamente (98 %) ao dióxido carbono emitido quando o veículo está em funcionamento. As outras fases do ciclo de vida apresentam uma influência consideravelmente mais fraca sobre as emissões atmosféricas, designadamente produção do pneu (2,5 %), obtenção de matérias-primas para o pneu (1,8 %) e transporte (0,3 %);
- **Emissões para a água** - O impacto negativo dos resíduos sobre a água ocorre quase exclusivamente na aquisição de matérias-primas para o pneu (94,4 %). Nas

outras fases do ciclo de vida os impactes negativos sobre as águas residuais são muito inferiores: cerca de 2,8 % durante o transporte e utilização, e 0,008 % durante a produção. O impacte negativo sobre a água residual é devido a iões cloreto (58,2 %), iões sulfato (24,6 %) e iões sódio (14,8 %);

- **Resíduos** - Aproximadamente 76,2 % dos resíduos podem ser atribuídos à fase de utilização do pneu. Isto deve-se à extracção de petróleo para uso como combustível e da prestação de energia eléctrica para a refinação do petróleo. Cerca de 0,23 kg de resíduos são produzidos por kg de gasolina normal. A fase de utilização do pneu conta com a parte preponderante da quantidade produzida de resíduos totais na vida de um pneu, cerca de 186 kg de gasolina por pneu a cada 50 000 km. Aproximadamente 11,9 % dos resíduos totais ocorrem durante a fase de produção do pneu, enquanto 11,8 % ou mais, ocorre na aquisição de matérias-primas para o pneu, para o transporte de um único pneu, é necessário cerca de 0,01 %;

Os resíduos surgem em conexão com a extracção de matérias-primas para o pneu (69,4 %) e na produção de pneu (26,0 %). Cerca de 62 % dos resíduos provenientes de matérias-primas consistem na extracção de resíduos a partir do minério de revestimento. A fase de utilização conta com 4,6 % do volume total de resíduos na vida de um pneu.

Os mesmos autores efectuaram uma comparação entre a fabricação de PN e o processo de recauchutagem de PU, concluindo que é necessário cerca de 2,3 vezes mais de energia, mais 1,85 vezes de ar, cerca de 25 vezes mais água e 1,4 vezes mais de recursos para fabricar um PN comparativamente ao que é necessário para recauchutar um PU. As emissões atmosféricas, os resíduos produzidos e a poluição da água são também significativamente mais elevados. Isto significa que a indústria transformadora de um PN tem um impacte ambiental maior do que o processo de recauchutagem de um PU.

Num estudo sueco, realizado em 1994 pela SDAB (1994), sobre a análise do ciclo de vida da utilização do PU, foi feita uma comparação entre os impactes ambientais de seis diferentes cenários para a utilização PU. A unidade funcional considerada foi uma tonelada de pneus recolhidos a partir dos vendedores de pneus.

Neste estudo, o ciclo de vida começa com a entrada de PU, ou seja, a produção de pneus não é incluído. Todas as matérias-primas, combustíveis e energia são seguidas desde o início, excepto para o caso de algumas matérias-primas, tais como produtos químicos,

aditivos, utilizados em pequenas quantidades. Os cenários analisados foram os que constam no Quadro 2.6.

Os resultados do estudo (Quadro 2.7) mostraram claramente que o material granulado da reciclagem de pneus, aplicado em campos de futebol (cenário 2), é o melhor cenário, seguindo-se a incineração de pneus em fornos das cimenteiras (cenário 1), e que o material granulado de reciclagem do PU em asfalto (cenário 5) é definitivamente o pior cenário.

Quadro 2.6. Cenários analisados no estudo da SDAB (1994) relativo à análise do ciclo de vida da utilização de pneus usados.

Cenário		Material de substituição e combustíveis
1	Incineração de pneus em fornos de cimenteiras	- Combustível alternativo: carvão e coque - Material alternativo: minério de ferro
2	Material granulado da reciclagem de pneus, em campos de futebol	- Material alternativo: EPDM (borracha)
3	Reutilização de pneus como material de drenagem em aterros	- Material alternativo: cascalho grosseiro
4	Incineração de pneus em uma unidade de aquecimento urbano	- Combustível alternativo: carvão e combustíveis renováveis
5	Material granulado de reciclagem usado em asfalto	- Material alternativo: cascalho extra grosseiros, necessário betume
6	Reutilização dos pneus como material de isolamento de ruído	- Material alternativo: Leca ¹

Quadro 2.7. Resultados do estudo do ciclo de vida do pneu usado (adaptado de SDAB, 1994).

Posição	
1	Material granulado da reciclagem de pneus, em campos de futebol (cenário 2)
2	Incineração de pneus em fornos de cimenteiras (cenário 1)
3	Reutilização dos pneus como material de isolamento de ruído (cenário 6)
	Reutilização de pneus como material de drenagem em aterros (cenário 3)
	Incineração de pneus em uma unidade de aquecimento urbano (cenário 4)
4	Material granulado de reciclagem usado em asfalto (cenário 5)

Desta forma os autores concluem que a utilização de PU é ambientalmente mais vantajosa em comparação com a utilização de matérias-primas virgens.

¹ LECA significa agregados de argila expandido, produzido pela flatulência de argila com alta temperatura em um forno rotativo. É um material redondo e extremamente leve.

2.3 IMPACTES NO AMBIENTE E NA SAÚDE PÚBLICA

Um impacto ambiental é qualquer alteração do ambiente, adversa ou benéfica, total ou parcialmente resultante das actividades, produtos ou serviços de uma organização (UNEP, 1999).

Para avaliar os impactes causados pelos pneus usados (PU), é importante perceber a interacção entre o pneu e o ambiente, para o quantificar, se possível, para definir o seu significado, e prevenir ou minimizar os seus efeitos negativos no ambiente (Rapra, 1994).

A estrutura básica para estas considerações é o modelo do ciclo de vida no qual se examina toda a vida do pneu, como esquematicamente representado na Figura 2.3.

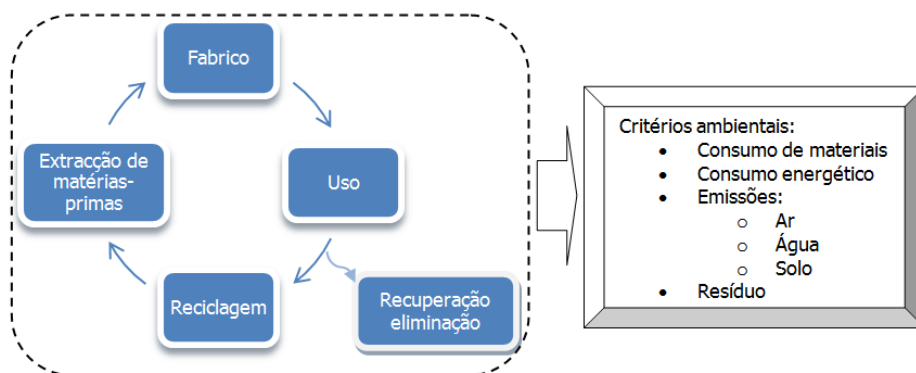


Figura 2.3. Identificação do ciclo de vida do pneu (adaptado de Rapra, 1994).

De acordo com a PYReco (2009), os pneus apresentam impactes negativos para o ambiente em todas as fases do seu ciclo de vida, desde o abastecimento de matérias-primas até à geração de resíduos de pneus.

A produção do pneu exige o consumo de quantidades substanciais de recursos estratégicos, como petróleo, matérias-primas e energia, podendo originar a rápida extinção de alguns recursos naturais como, por exemplo, a árvore-da-borracha. Também gera níveis significativos de poluição localizada. No entanto, e como se verificou no subcapítulo anterior, é durante a sua utilização e no final do seu ciclo de vida que os pneus geram a maior quantidade de poluentes nocivos.

No processo de fabricação dos pneus, alguns materiais utilizados podem representar um risco para a saúde humana a diferentes níveis de exposição. Por este motivo, alguns grupos específicos da população, como atletas, pais e outras partes interessadas, estão a manifestar dúvidas e preocupações sobre os potenciais riscos para a saúde humana ou efeitos

ecológicos decorrentes da utilização de pneus reciclados nas superfícies desportivas e nos materiais dos parques infantis.

De realçar segundo, Collins *et al.* (2002) que os pneus são fabricados a partir de uma ampla gama de compostos químicos, que variam entre o tipo de pneu, o fabricante, a data de produção e o país de origem. Quer a borracha natural, quer os polímeros sintéticos (*e.g.* butadieno) são utilizados na sua produção, com grandes quantidades de carbono negro como agente e reforço de enchimento.

Ainda de acordo com os mesmos autores, durante vários anos os fabricantes incluíam aditivos na composição dos pneus que resultaram em componentes perigosos para a saúde pública e para o ambiente. Mas para Rietschel *et al.* (2008), uma variedade de aditivos são encontrados na borracha tais como aceleradores, incluindo tiuranos, carbamatos, tiouréias e mercaptobenzotiazol.

Quando os pneus atingiam o seu fim-de-vida gerava-se uma longa discussão se poderiam ou não ser considerados resíduos perigosos. Em muitos países foram caracterizados como não perigosos (Collins *et al.*, 2002).

Mas em Portugal, os pneus não são considerados como um resíduo perigoso de acordo com a Directiva 91/689/CEE do Conselho, de 12 de Dezembro de 1991, relativa aos resíduos perigosos.

Apesar da estabilidade dos pneus, devido aos diferentes componentes da mistura de borracha serem retidos na malha tridimensional do polímero, é essencial assegurar que os pneus não são tratados de uma forma que possa causar danos ao ambiente (UNEP, 1999).

Estes danos podem acontecer por exemplo em casos de focos de incêndio, onde um grande número de compostos podem ser libertados para a atmosfera. Estes produtos são de decomposição extensa e variada, dependendo de vários factores como o tipo de pneu, velocidade de combustão, tamanho do amontoado de pneu, temperatura e humidade, entre outros. As quantidades libertadas e a concentração destes diferentes compostos dependem da forma como o incêndio se iniciou, mas a maioria são as quantidades de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) e dióxido de enxofre (SO₂). É interessante notar que os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos podem ser libertados, mas, dada a rápida dispersão do fumo para a atmosfera, a sua concentração na atmosfera permanece muito baixa, e abaixo do nível de perigo para os seres humanos (UNEP, 1999).

Como em todos os incêndios que envolvam produtos de hidrocarbonetos, a presença de monóxido de carbono (CO) e óxidos de enxofre (SO_x) representam a maior ameaça, mas

esta ameaça diminui rapidamente à medida que se afasta do foco de incêndio. A poluição atmosférica de combustão completa de um pneu produz CO₂, vapor de água e resíduos inertes (juntamente com uma pequena quantidade de SO₂). Contudo, a queima a céu aberto origina uma combustão incompleta, o que, para além do calor intenso, dá origem a um espesso fumo negro com diversos graus de nocividade (UNEP, 1999).

Reisman *et al.* (1997), num estudo que realizaram para a Environmental Protection Agency (EPA), referem que as emissões atmosféricas da queima de pneus incluem poluentes "critérios"², tais como: partículas, CO, SO_x, óxidos de azoto (NO_x), e compostos orgânicos voláteis (COV). Incluem também os poluentes perigosos "não-critérios"³, tais como: os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP), as dioxinas, furanos, cloreto de hidrogénio, benzeno, bifenilos policlorados e metais como o arsénio, cádmio (Cd), níquel, zinco (Zn), mercúrio, crómio (Cr) e vanádio. Em situações de fogo aberto, estas emissões podem representar perigos para a saúde, curto prazo (aguda) e longo prazo (crónica), para bombeiros e residentes nas proximidades. Estes efeitos sobre a saúde incluem irritação da pele, olhos e mucosas, depressão do sistema nervoso central, efeitos a nível respiratório e cancro.

Neste estudo foram realizadas queimas em laboratório de dois pneus (diferentes tamanhos), apresentando-se no Quadro 2.8 os resultados obtidos pelos autores.

Quadro 2.8. Resumo das emissões totais de compostos orgânicos, resultante da queima de dois pneus de diferentes tamanhos (simulação laboratorial) (adaptado de Reisman *et al.*, 1997).

Componente orgânico	Pedaços grandes		Granulados	
	Concentração libertada (mg/m ³)	Factor de emissão (mg/kg pneu)	Concentração libertada (mg/m ³)	Factor de emissão (mg/kg pneu)
Volátil	8,53	11 182	8,03	13 068
Semi-Volátil	3 514,6	9 792,0	8 473,0	31 686,0
Particulado	4 048,0	11 223,5	4 151,9	14 888,0
Totais	7 571,1	32 197,5	12 632,93	59 642,0

Os resultados da análise de metais são apresentados no Quadro 2.9. Os únicos metais significativos das emissões, em comparação com amostras em branco, foram as emissões de

² Poluentes critérios - poluentes conhecidos como perigosos para a saúde humana. O termo deriva da exigência de descrever as características e os potenciais efeitos sobre a saúde e bem-estar destes poluentes conforme as normas são fixadas ou revistas (U.S. EPA, 2007).

³ Poluentes não-critérios – são poluentes que não são regulados pela Clean Air Act (CAA) ou EPA. Os cientistas têm documentado efeitos negativos das emissões destes poluentes e eles foram agrupados em várias categorias que se sobrepõem (U.S. Department of Energy, 2009).

chumbo (Pb) e de Zinco (Zn). Os autores estimaram o aumento das emissões de Zn com o aumento das taxas de queima.

Quadro 2.9. Emissões de alguns metais, resultante da queima de pneus (simulação laboratorial) (adaptado de Reisman *et al.*, 1997).

Metais	Pedaços grandes		Granulados	
	Concentração libertada (mg/m ³)	Factor de emissão (mg/kg pneu)	Concentração libertada (mg/m ³)	Factor de emissão (mg/kg pneu)
Alumínio	ND	ND	ND	ND
Arsénio	ND	ND	ND	ND
Bário	ND	ND	ND	ND
Cálcio	0,0079	8,54	0,0028	4,80
Crómio	ND	ND	ND	ND
Cobre	ND	ND	ND	ND
Ferro	ND	ND	ND	ND
Chumbo	0,0004	0,47	0,0001	0,10
Magnésio	0,0012	1,26	0,0005	0,5
Sódio	0,0084	9,51	0,0035	5,80
Zinco	0,0409	31,17	0,0146	24,35

ND = Não detectado.

Ainda de acordo com a UNEP (1999), a poluição da água derivada da combustão incompleta da borracha, conduz à fragmentação pirolítica seguida por uma recombinação dos fragmentos dos diferentes compostos químicos, alguns dos quais são líquidos (*e.g.* os aromáticos, a parafina ou variedades de óleo nafténico), levados pela água quando esta é utilizada para apagar o fogo. O mesmo acontece com certos componentes da combustão de resíduos, tais como sais de Zn, que sempre contêm concentrações traço de Cd e Pb em tais condições. Essas substâncias podem causar danos à flora e fauna. A experiência mostra que, na sua maior parte, estas substâncias são suficientemente diluídos na água utilizada para apagar o fogo para não causar danos ao ambiente aquático. Caso contrário, a água tem que ser tratada antes da sua eliminação.

Tendo por base uma extensa revisão bibliográfica, o RMA (2008) identifica os perigos decorrentes da utilização dos PU, principalmente em parques infantis.

Seguidamente apresenta-se um conjunto de produtos químicos usados na fabricação de pneus com potenciais perigos para a saúde ao se efectuar a sua reciclagem e utilização posterior.

- **Antioxidantes ou Antiozonantes:**

- A maioria de agentes antidegradantes, protectores da acção do oxigénio ou do azoto, são classificados como produtos químicos ambientalmente nocivos. Um agente típico antiozonante, é classificado como ambientalmente perigoso (Ecolabel, 2009);
- Os antioxidantes são adicionados à mistura da composição da borracha para inibir o seu envelhecimento oxidativo no produto final. Os antioxidantes não são consumidos durante a vulcanização, mas são consumidos durante a utilização do produto. Podem ser capazes de migrar dentro da borracha vulcanizada. No entanto não foram detectados em estudos de lixiviação de PU, indicando uma baixa probabilidade de exposição a antioxidantes a partir da utilização de PU reciclados em parques e campos de relva artificial (RMA, 2008);
- Ao longo do tempo os agentes protectores antigos são lixiviados da superfície e são repostos por outros novos. Argumenta-se que os lixiviados dos agentes de protecção têm um impacte negativo sobre o ambiente. A toxicidade para os peixes, resultante da água extraída da borracha, tem sido estudada por vários institutos de investigação, nuns casos os resultados apresentam baixa toxicidade, noutros níveis mais elevados de toxicidade (Ecolabel, 2009).

- **Aceleradores e agentes de vulcanização:**

- Os aceleradores e agentes de vulcanização são reactivos químicos utilizados para promover ou controlar a taxa de enxofre durante a vulcanização da cura do pneu. Como reactivos químicos, que são inteiramente consumidos durante o processo de cura, não se espera estarem presentes no produto final. Além disso, esses produtos químicos individualmente representam apenas um pequeno componente da composição da mistura da borracha. Por conseguinte, a exposição a esses produtos químicos a partir da utilização de PU reciclados, em parques e campos de relva artificial, é susceptível de ser negligenciável (RMA, 2008).

- **Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP):**

- Os HAP são encontrados como impurezas nos óleos aromáticos que são utilizados como plastificantes para fornecer elasticidade e dureza ao pneu acabado. Por isso, os PU reciclados podem conter HAP, embora a recente

legislação da UE restrinja o uso de óleos aromáticos na produção do pneu, o que irá resultar em menos PU reciclados que contenham HAP no futuro. Alguns HAP são reconhecidos pelos seus efeitos cancerígenos. Devido à percepção de riscos associados com HAP, quase todas as avaliações de risco e de segurança de campos de relva artificial e parques infantis têm avaliado as exposições de HAP. Os HAP, também são altamente tóxicos para os organismos aquáticos (RMA, 2008);

- Segundo a Waste (2008), os óleos aromáticos densos (OAD), sendo um HAP, são o maior risco ambiental e de saúde pública, encontrando-se numa proporção de até 20% o que significa que existe até um litro de OAD de pneu em cada carro. Os OAD são resíduos perigosos que são produzidos quando as bases de *stocks* lubrificantes são refinadas no processo de produção de lubrificantes. Os OAD contêm níveis elevados de compostos aromáticos policíclicos (CAP) e são classificados como tóxicos devido à sua natureza cancerígena. Eles também representam um perigo para os organismos aquáticos porque muitos dos actuais CAP são tóxicos e muito lentamente biodegradáveis e são bioacumuláveis.

- **Ftalatos:**

- Os ftalatos são plastificantes utilizados em algumas instalações de produção de pneus para controlo da elasticidade do produto final da borracha. O di (2-etilhexil) ftalato (DEHP), é considerado um provável carcinógeno humano pela EPA, embora a Agência Internacional para a Investigação do Cancro concluiu que a carcinogenicidade do DEHP não pode ser classificada, pois o mecanismo de carcinogenicidade, como demonstrado em ensaios com ratos e outros organismos, não pode ser considerado relevante para os seres humanos. Também foram identificados como possíveis desreguladores endócrinos, podendo induzir alterações na formação do esperma e fertilidade de ratos (RMA, 2008).

- **Metais:**

- O Zn é o principal metal utilizado nos pneus, sob a forma de óxido de zinco (ZnO) é utilizado como um activador do processo de vulcanização. É um elemento essencial para o homem, apesar da excessiva ingestão de Zn poder

resultar em desequilíbrio electrolítico através de interferência com a homeostase de cobre (RMA, 2008);

- Uma certa quantidade de ZnO é sempre necessária para o pneu cumprir as suas funções, no entanto o Pb e o Cd são impurezas nos ZnO. Considerando os aspectos ambientais, a quantidade de Cd que se propaga através de desgaste do pneu no ambiente é relativamente baixa quando comparada com as outras fontes de emissão. A concentração máxima de impureza permitida no ZnO é 0,10 % de Pb e de 0,006 % para o Cd. Normalmente, as concentrações de Pb no ZnO variam entre 0,03 % e 0,3 %. No mercado, o intervalo correspondente de Cd em ZnO é 0,001 % a 0,10 %. A três de Dezembro de 2008, a UE para concordar com o REACH (Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals), decidiu-se alterar a concentração máxima de impurezas de Cd em ZnO a partir de 0,006 % para 0,01 % (Ecolabel, 2009).

- **Compostos orgânicos voláteis (COV):**

- Os COV são usados durante o fabrico do pneu, alguns podem estar presentes no produto final de pneus e no solo através dos pneus reciclados. Espera-se que os COV se libertem, do pneu, pela sua forma gasosa, após apenas um curto espaço de tempo, devido à elevada volatilidade. Através do contacto com a pele ou por inalação pode resultar em riscos significativos para a saúde, tais como alergia ou asma (Ecolabel, 2009).

Para Brown (2007), e de acordo com a informação disponível relativa a ensaios laboratoriais com granulados de pneus, verificou-se que estes contêm hidrocarbonetos orgânicos voláteis, com potencial cancerígeno. Nos ensaios laboratoriais de lixiviação, foram identificadas através de análises espectrofotometria de massa quatro compostos, designadamente: benzotiazole; butilado hidroxianisolo; n-hexadecano, e 4 - (t-octil) fenol. Estes produtos químicos foram libertados em condições laboratoriais próximas das condições ambientais. Essas substâncias químicas identificadas têm as seguintes acções:

- **Benzotiazole:** provoca irritação dos olhos e da pele, prejudicial se ingerido. Não há dados disponíveis sobre cancro, toxicidade mutagénica ou toxicidade teratogénicas;
- **Butil-hidroxianisolo:** cancerígeno reconhecido, suspeito de tóxicos endócrinos, tóxicos gastrointestinais, imunotóxicos, neurotóxicos, tóxicos de pele e órgãos

sensitivos. Não há dados disponíveis sobre cancro, toxicidade mutagénica ou toxicidade teratogénicas;

- **n-hexadecano:** pode provocar graves irritações em humanos e animais. Não há dados disponíveis sobre cancro, toxicidade mutagénica ou toxicidade teratogénicas;
- **4 - (t-octil) fenol:** corrosivo e destrutivo para as membranas mucosas. Não há dados disponíveis sobre o cancro, toxicidade mutagénica ou toxicidade teratogénicas.

De acordo com o mesmo autor, os estudos também detectaram metais nos lixiviados de granulados de pneus. O Zn foi o metal predominante, mas o selénio, Pb e Cd foram também identificados.

Birkholz *et al.* (2003) fizeram uma avaliação toxicológica sobre o perigo dos granulados de PU nos parques infantis. Nesta avaliação enfatizaram que o perigo para a saúde das crianças, associado à utilização de granulados de pneus em parques infantis depende da presença de uma via de exposição e contacto directo com os produtos químicos que podem estar presentes nos granulados. Esta exposição pode ocorrer dermatologicamente (contacto com a pele) ou por via oral (através da ingestão). Numa avaliação da exposição qualitativa chegou-se às seguintes conclusões: o perigo de ingestão foi considerado baixo porque a ingestão de granulados de pneu sobre o terreno não é provável, e no tracto gastrointestinal é improvável existir uma absorção dos produtos químicos tóxicos dos granulados. Os granulados de pneus não contêm substâncias químicas com vapor de alta pressão, assim, a exposição por via inalatória foi considerada inconsequente e o consequente risco insignificante. A exposição cutânea foi considerada como pouco provável e, portanto, apresenta um risco baixo.

Os mesmos autores referem ainda os bio-ensaios de lixiviados obtidos a partir de três amostras de granulados de pneus, sendo um deles os PU. Os resultados revelaram que todas as amostras foram tóxicas para as quatro espécies testadas (*i.e.* bactérias luminescentes, invertebrados, peixes e algas verdes). Do ensaio de genotoxicidade das amostras dos granulados de pneu, concluíram que não estavam presentes químicos que pudessem causar danos prejudiciais para o ADN ou cromossomas. Isto sugere que a ingestão de pequenas quantidades de granulados de pneus, por crianças, não irá resultar num risco de contrair cancro.

No Quadro 2.10, apresentam-se os resultados obtidos de uma avaliação de risco efectuada pela Environment Agency (2007) aos produtos da produção e da utilização de derivados de pneus de borracha produzida a partir de PU.

Em Junho de 2007 entrou em vigor o Regulamento CE n.º 1907/2006 do Parlamento Europeu e do Conselho, relativo ao registo, avaliação, autorização e restrição de substâncias químicas (REACH). O REACH é um novo sistema integrado altamente original, porque exige que a jusante dos consumidores, nomeadamente nas indústrias de borracha e pneus, haja uma recolha de informação sobre as propriedades das substâncias utilizadas para a fabricação de pneus, para promover a sua gestão segura e progressivamente substituir as substâncias mais perigosas com alternativas mais seguras (ETRMA, 2009a).

Ainda de acordo com o ERTMA (2009a), o REACH surgiu com o intuito de implementar uma política para a regulamentação de químicos, com o objectivo de garantir a protecção da saúde humana e do ambiente, devido à utilização de produtos químicos pelos fabricantes de borracha em toda a Europa.

Embora a rigorosa legislação já em vigor a nível europeu e nacional, os membros ETRMA empreenderam uma série de iniciativas pró-activas para melhorar a gestão e processos dos produtos químicos de borracha. Portanto, a fase de implementação do REACH irá provar ser um grande desafio para a indústria e em especial para pequenas empresas (ETRMA, 2009a).

Segundo o ERTMA (2009a) um dos objectivos fundamentais do 6.º Programa de Acção Comunitária para o Ambiente é atingir a produção e utilização segura de produtos químicos em 2020, e garantir que não haverá impacto para as pessoas que entram em contacto com essas substâncias.

Para ter uma melhor perspectiva sobre as substâncias utilizadas em toda a indústria, um grupo de peritos, foi criado sob a denominação "BRAG" ("ETRMA Avaliação de Risco do Grupo de Trabalho" – "ETRMA Risk Assessment Working Group"), tendo como missão prestar aconselhamento especializado e proceder a trabalhos técnicos necessários para tratar as actuais e futuras avaliações de risco, relevantes para a indústria da borracha, análise de saúde e os impactes ambientais das substâncias, tais como resorcinol, tolueno e zinco no processo de composição da borracha e em uso.

Quadro 2.10. Resultados da avaliação de risco ambientais e de saúde pública, decorrentes da utilização de pneus usados (adaptado de Environment Agency, 2007).

Aplicação / uso	Eventos perigosos e potencial via	Receptor	Risco antes da mitigação			Medidas de mitigação necessárias	Risco depois da mitigação		
			Elevado	Médio	Baixo		Elevado	Médio	Baixo
Engenharia civil (não rodoviárias): construção de agregados, drenagem, aplicações de bloqueio, estabilização de aterros, drenagem de aterros, camadas de travessia ferroviária.	Lixiviação de contaminantes no ambiente terrestre, através das escorrências superficiais ou subterrâneas.	Habitats terrestres, águas subterrâneas, flora e fauna, seres humanos.			✓	A investigação demonstrou uma baixa probabilidade de efeitos ambientais no ambiente terrestre – sem propostas de mitigação.			✓
	Lixiviação dos contaminantes no meio aquático através das escorrências superficiais ou subterrâneas.	Habitats aquáticos, flora e fauna, seres humanos.		✓		A investigação sugere que a lixiviação de pneus em materiais derivados de borracha podem ser tóxicos em ambientes aquáticos. Sempre que exista uma potencial via directa para as águas de superfície: <ul style="list-style-type: none"> Desenvolver mecanismos apropriados de contenção e / ou sistemas de recolha dos lixiviados; Assegurar uma adequada diluição no meio receptor, se a abertura de um canal for inevitável. 			✓
	Risco de incêndio durante o armazenamento temporário de materiais no local antes de utilizar	Habitats Aéreo e terrestre, Flora e fauna, humanos		✓		Certas condições podem ser criadas durante o armazenamento de artigos de borracha e de granulados que podem levar à oxidação e reacção exotérmica causando riscos de incêndio. Em todos os casos, os riscos devem ser minimizados por: <ul style="list-style-type: none"> Borracha que cobre o material e aumentar a massa à superfície em relação ao limite de bolsas de ar; Manter bem longe de qualquer fonte de calor e ignição, limitando o tamanho das pilhas de estoque < 3 m de altura e separar células de armazenamento divididos com painéis resistente ao fogo; Reduzir o risco de atmosferas explosivas pela gestão poeiras ou quando se utiliza granulados de borracha. 			✓
Engenharia civil (estradas): asfalto de borracha, drenagem da rodovia.	Lixiviação de contaminantes no ambiente terrestre, através das escorrências superficiais ou subterrâneas.	Habitats terrestres, águas subterrâneas, flora e fauna, seres humanos.			✓	A investigação demonstrou uma baixa probabilidade de efeitos ambientais no ambiente terrestre – sem propostas de mitigação.			✓
	Lixiviação dos contaminantes no meio aquático através das escorrências superficiais ou subterrâneas de transporte.	Habitats aquáticos, flora e fauna, seres humanos.		✓		Pesquisas sugerem que a partir de lixiviados derivados de pneus podem ser tóxicos em ambientes aquáticos. O percurso a partir de borracha de asfalto não está disponível, mas, na drenagem ou aplicações de agregados abaixo do lençol freático, podem ser gerados lixiviados. Assegurar que não existem vias superficiais sensíveis às águas superficiais a 50 m no interior do local.			✓
	Risco de incêndio durante o armazenamento	Habitats aéreo e terrestre, flora e fauna, seres		✓		Certas condições podem ser criadas durante o armazenamento de artigos de borracha e de granulados que podem levar à oxidação e reacção exotérmica causando riscos de incêndio. Em todos os			✓

Aplicação / uso	Eventos perigosos e potencial via	Receptor	Risco antes da mitigação			Medidas de mitigação necessárias	Risco depois da mitigação		
			Elevado	Médio	Baixo		Elevado	Médio	Baixo
	temporário de materiais no local antes da sua utilização.	humanos.				casos, os riscos devem ser minimizados por: <ul style="list-style-type: none"> Borracha que cobre o material e aumentar a massa à superfície em relação ao limite de bolsas de ar; Manter bem longe de qualquer fonte de calor e ignição, limitando o tamanho das pilhas de estoque < 3 m de altura e separar células de armazenamento divididos com painéis resistente ao fogo; Reduzir o risco de atmosferas explosivas pela gestão poeiras ou quando se utiliza granulados de borracha. 			
Desportos, lazer, revestimento de segurança e actividades recreativas. Aplicações consolidadas: Segurança do pavimento, enrançamento dos parques infantis. Aplicações não consolidadas: relva artificial, superfícies desportivas, áreas recreativas, pistas e faixas, trilhas e caminhos, áreas jogáveis no parque.	Lixiviação de contaminantes no ambiente terrestre, através das escorrências superficiais ou subterrâneas.	Habitats aquáticos, flora e fauna, seres humanos.			✓	A investigação demonstrou uma baixa probabilidade de efeitos ambientais no ambiente terrestre – sem propostas de mitigação.			✓
	APENAS aplicações consolidadas: Lixiviação dos contaminantes no meio aquático através das escorrências superficiais ou subterrâneas.	Habitats aquáticos, flora e fauna, seres humanos.		✓		A investigação demonstrou uma baixa probabilidade de efeitos ambientais no ambiente terrestre – sem propostas de mitigação.			✓
	APENAS aplicações Não consolidadas: Lixiviação dos contaminantes no meio aquático através das escorrências superficiais ou subterrâneas.	Habitats aquáticos, flora e fauna, seres humanos.			✓	A investigação sugere que, em aplicações avulso, onde uma grande área da superfície de derivados de pneus está presente, existe um potencial significativo de impacte ambiental localizadas em ambientes aquáticos, nomeadamente a partir da toxicidade dos lixiviados contaminados com compostos orgânicos e metálicos. Ao usar materiais de derivados de pneus em aplicações avulsas, as seguintes medidas devem ser aplicadas: <ul style="list-style-type: none"> Garantir que não existe caminho para a superfície da água das escorrências directamente para as águas superficiais. Se isso não for possível, e num potencial percurso se verifique a existência: <ul style="list-style-type: none"> Assegurar uma adequada diluição no receptor; Conter eventuais lixiviados e tratar como água de esgoto; Contenham partículas derivados de borracha do pneu utilizando métodos de barreira para evitar a libertação para o ambiente livre. 			✓
	Risco de incêndio durante o armazenamento temporário de	Habitats aéreo e terrestre, flora e fauna, seres humanos.		✓		Certas condições podem ser criadas durante o armazenamento de artigos de borracha e de granulados que podem levar à oxidação e reacção exotérmica causando riscos de incêndio. Em todos os casos, os riscos devem ser minimizados por:			✓

Aplicação / uso	Eventos perigosos e potencial via	Receptor	Risco antes da mitigação			Medidas de mitigação necessárias	Risco depois da mitigação		
			Elevado	Médio	Baixo		Elevado	Médio	Baixo
	materiais no local antes de utilizar.					<ul style="list-style-type: none"> Borracha que cobre o material e aumentar a massa à superfície em relação ao limite de bolsas de ar; Manter bem longe de qualquer fonte de calor e ignição, limitando o tamanho das pilhas de estoque < 3 m de altura e separar células de armazenamento divididos com painéis resistente ao fogo; Reduzir o risco de atmosferas explosivas pela gestão poeiras ou quando se utiliza granulados de borracha. 			
Aplicações industriais: Aplicações consolidadas: Tapete de reforço, selante e mástiques, telha à prova de som, produtos de borracha moldado.	Lixiviação de contaminantes no ambiente terrestre, através das escorrências superficiais ou subterrâneas.	Habitats terrestres, águas subterrâneas, flora e fauna, seres humanos.			✓	A investigação demonstrou uma baixa probabilidade de efeitos ambientais no ambiente terrestre – sem propostas de mitigação			✓
	Lixiviação dos contaminantes no meio aquático através das escorrências superficiais ou subterrâneas.	Habitats aquáticos, flora e fauna, seres humanos.			✓	Dada a natureza dos produtos industriais, o potencial de lixiviados é mínimo e não são propostas novas medidas.			✓
	Risco de incêndio durante o armazenamento temporário de materiais no local antes de utilizar.	Habitats aéreo e terrestre, Flora e fauna, seres humanos.			✓	Dada a natureza vinculada dos produtos industriais, o potencial de incêndio é mínima. Armazenamentos consolidados de produtos de borracha devem ser mantidos afastado de fontes de ignição ou de materiais incandescentes e proteger os armazéns do vandalismo que possam levar à introdução de uma tal fonte de ignição. Não são propostas novas medidas.			✓

2.4 POLÍTICA E LEGISLAÇÃO COMUNITÁRIA E NACIONAL APLICADAS A PNEUS USADOS

2.4.1 EUROPEIA

Desde 1975, com a publicação da primeira Directiva-Quadro (DQ) dos resíduos, Directiva 75/422/CEE, de 15 de Julho, que a União Europeia (UE) tem desenvolvido um conjunto de instrumentos regulamentares e económicos que visam uma correcta gestão dos resíduos, tendo em vista a minimização dos seus impactes no ambiente e na saúde e a conservação dos recursos naturais.

Nesta DQ foram dadas diversas orientações aos Estados-Membros (EM), no sentido de adoptarem as medidas adequadas para promover a prevenção, a reciclagem e a transformação dos resíduos, bem como a obtenção a partir destes de matérias-primas e eventualmente de energia, assim como qualquer outro método que permita a reutilização dos resíduos (art. 3.º) e garantir que a gestão dos resíduos se faça sem colocar em risco a saúde humana nem prejudicar o ambiente (art. 4.º).

É ainda nesta Directiva que é defendido o princípio do “poluidor-pagador”. No seu art. 11.º afirma-se que de acordo com este princípio “os custos da eliminação dos resíduos” devem ser suportados pelo detentor dos resíduos e/ou pelo produtor.

Para Braga de Carvalho (2007),

“(...) o princípio do poluidor-pagador estabelece que a internalização dos custos externos relacionados aos danos ambientais é da responsabilidade do poluidor. Porém, o princípio não está ligado somente à questão da compensação do dano por parte do poluidor. Em outras palavras, a ele são acrescidos os custos relacionados à prevenção, à precaução e à reparação do dano ambiental. Outro aspecto a ressaltar é que, antes da reparação, o que o princípio objectiva realmente é evitar que o prejuízo ambiental venha a ocorrer”.

Com o princípio em causa, e de acordo com Tosini (2007),

“(...) busca-se impedir que a sociedade arque com os custos da recuperação de um acto lesivo ao ambiente causado por um poluidor perfeitamente identificado”.

A Directiva 75/422/CEE, de 15 de Julho, foi alterada pela Directiva do Conselho n.º 91/156/CEE, de 18 de Março de 1991, na qual se prevê a elaboração de uma lista dos resíduos (a actual Lista Europeia de Resíduos). É ainda estabelecida uma hierarquia de opções para a gestão dos resíduos, considerando em primeiro lugar “a prevenção ou a redução da produção e da nocividade dos resíduos” e, em segundo lugar: i) O

aproveitamento dos resíduos por reciclagem, reemprego, reutilização ou qualquer outra acção tendente à obtenção de matérias-primas secundárias; ou ii) A utilização de resíduos como fonte de energia.

A Directiva 75/439/CEE foi novamente alterada em 2006 pela Directiva 2006/12/CE, Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril de 2006, e, mais recentemente, a Directiva 2006/12/CE foi revogada com a publicação da Directiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro de 2008, com efeitos a partir de 12 de Dezembro de 2010.

Nesta nova DQ dos resíduos é referido que a hierarquia dos resíduos é aplicável enquanto princípio geral da legislação e da política de prevenção e gestão de resíduos, devendo os EM respeitar a seguinte ordem de opções a) prevenção e redução; b) preparação para a reutilização; c) reciclagem; d) outros tipos de valorização, por exemplo a valorização energética; e e) eliminação.

É ainda na nova DQ, no seu art. 8.º, reforçado o princípio da responsabilidade alargada do produtor, estipulando que os EM,

“(..) podem tomar medidas de carácter legislativo ou não legislativo para assegurar que uma pessoa singular ou colectiva que a título profissional desenvolva, fabrique, transforme, trate, venda ou importe produtos (o produtor do produto) esteja sujeita ao regime de responsabilidade alargada do produtor”.

De acordo com este artigo, essas medidas podem incluir a aceitação dos produtos devolvidos, a subsequente gestão de resíduos e a responsabilidade financeira por essas actividades, a obrigação de disponibilizar ao público informações acessíveis sobre até que ponto o produto é reutilizável e reciclável, bem como o incentivo à concepção mais ecológica dos produtos de modo a que tenham um menor impacte ambiental ao longo do seu ciclo de vida.

Por fim, no seu art. 15.º, e sobre a responsabilidade pela gestão de resíduos, é referido que os EM devem tomar:

“(...) as medidas necessárias para assegurar que o produtor inicial dos resíduos ou outros detentores procedam eles próprios ao tratamento dos resíduos ou confiem esse tratamento a um comerciante ou a um estabelecimento ou empresa que execute operações de tratamento de resíduos, ou a um serviço de recolha de resíduos público ou privado (...)”.

O princípio do poluidor-pagador, a hierarquia de opções para a gestão dos resíduos e o princípio da responsabilidade alargada do produtor, são pois os três eixos fundamentais da política europeia de gestão de resíduos.

De acordo com Braga de Carvalho (2007),

“(...) o comportamento da sociedade e a forma de as entidades lidarem com a natureza têm sofrido alterações ao longo das últimas décadas, principalmente em decorrência da mudança de valores, de conhecimento e crenças sobre o assunto.

Desde a década de 1970, essencialmente após a I Conferência Internacional sobre Meio Ambiente Humano, em Estocolmo, ocorrida em 1972, as pessoas têm percebido mais efectivamente que as alterações no Planeta, relacionados com o clima, vegetação, poluição, efeitos estufa e outros, não são meros “blefes” dos ambientalistas.

As legislações sobre responsabilidade ambiental têm tratado com maior rigor as questões ambientais, as quais, juntamente com as descobertas dos estudiosos da temática, estão a levar a uma nova dimensão da ética e da responsabilidade das empresas frente às questões ambientais”.

Na opinião de Vieira (2008), este assumir das responsabilidades ambientais, levou a que a Gestão Ambiental Integrada, tal como é representada esquematicamente na Figura 2.4, adquirisse na primeira década do século XXI uma grande relevância. Isto deveu-se ao facto do desenvolvimento sustentável ser considerado um dos objectivos primordiais da política do ambiente, e, ainda, ao reconhecimento da relevância dos factores (e actores) socioeconómicos na evolução dos problemas ambientais, ao envolvimento do público e das partes interessadas na formulação e implementação de políticas, e ao reconhecimento da necessidade de adoptar abordagens integradas contemplando diferentes instrumentos para diferentes objectivos.



Figura 2.4. Esquema da gestão ambiental integrada (Vieira, 2008).

Segundo Campos (2006), os objectivos da gestão integrada aplicada aos PU deverão contemplar os seguintes aspectos:

1. A prevenção da produção de resíduo por implementação de medidas que aumentem a vida útil dos pneus;
2. A recauchutagem como medida de reutilização;
3. A reciclagem material que, actualmente, consiste em triturar os pneus e fazer a separação dos materiais (borracha, têxteis e aço);
4. A valorização que, actualmente, em Portugal consiste na valorização energética numa cimenteira ou numa unidade de co-geração.

Um conceito novo, introduzido na Directiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro, é o fim do estatuto de resíduo. No ponto 1 do seu art. 6.º, a Directiva refere que:

“(...) determinados resíduos específicos deixam de ser resíduos (...) caso tenham sido submetidos a uma operação de valorização, incluindo a reciclagem, e satisfaçam critérios específicos a estabelecer nos termos das seguintes condições:

- a) A substância ou objecto ser habitualmente utilizado para fins específicos;
- b) Existir um mercado ou uma procura para essa substância ou objecto;
- c) A substância ou objecto satisfazer os requisitos técnicos para os fins específicos e respeitar a legislação e as normas aplicáveis aos produtos; e
- d) A utilização da substância ou objecto não acarretar impactes globalmente adversos do ponto de vista ambiental ou da saúde humana.

Se necessário, os critérios incluem valores-limite para os poluentes e têm em conta eventuais efeitos ambientais adversos da substância ou objecto”.

E no ponto 2 do mesmo artigo, é referido que deverão ser considerados critérios específicos para o estabelecimento do fim do estatuto de resíduo, nomeadamente pelo menos para agregados, papel, vidro, metal, pneus e têxteis.

Para além da DQ dos Resíduos, a UE tem publicado um conjunto de outras directivas, umas sobre instalações (*e.g.* aterros e incineradoras) e outras sobre a gestão de determinados fluxos especiais de resíduos, nomeadamente óleos usados, pilhas e baterias, embalagens, veículos em fim de vida, equipamentos eléctricos e electrónicos.

Embora não tenha sido publicada nenhuma directiva específica para o fluxo dos pneus e pneus usados (PU), a Directiva do Conselho 1999/31/CE, de 26 de Abril, relativa à deposição

de resíduos em aterros, estabelece na alínea 3 do art. 5.º que os EM deverão tomar medidas para que não sejam aceites em aterros os pneus inteiros, a partir de 2003, com exclusão dos pneus utilizados como materiais de fabrico, e os PU triturados, a partir de 2006, excluindo, em ambos os casos, os pneus de bicicletas e os pneus com um diâmetro exterior superior a 1 400 mm.

Os principais problemas da presença destes materiais em lixeiras e aterros são:

- O elevado tempo de decomposição, estimado em 150 anos ou mais;
- A sua composição química, que cria grandes problemas ambientais quando depositados em lixeiras ou queimados a céu aberto;
- A ocupação de muito volume nos aterros, pois são pouco compressíveis;
- O seu formato que possibilita um meio óptimo para o desenvolvimento e proliferação de vectores de doenças.

Face a estas imposições, vários EM, incluindo Portugal, adoptaram medidas específicas para a gestão dos PU.

Relativamente à recauchutagem há dois diplomas que interessa destacar. A Decisão do Conselho 2001/509/CE, de 26 de Junho, que apresenta um artigo único, e a Decisão do Conselho 2001/507/CE, de 26 de Junho, relativa à adesão da Comunidade Europeia ao Regulamento n.º 109 da Comissão Económica para a Europa das Nações Unidas relativo à homologação da produção de pneumáticos recauchutados para veículos comerciais e seus reboques.

Estas duas Decisões foram alteradas pela Decisão do Conselho 2006/443/CE, de 13 de Março, tendo em vista tornar vinculativos os Regulamentos n.ºs 109 e 108 da Comissão Económica para a Europa das Nações Unidas (UN/ECE), relativos aos pneus recauchutados.

O artigo único da Decisão 2001/507/CE, passa a ter a seguinte redacção:

“A Comunidade Europeia adere ao Regulamento n.º 109 da Comissão Económica para a Europa das Nações Unidas relativo à homologação da produção de pneumáticos recauchutados para veículos a motor e seus reboques. A partir de 13 de Setembro de 2006, o cumprimento das disposições do Regulamento n.º 109 (...) passa a ser vinculativo para a colocação no mercado da Comunidade de pneus recauchutados abrangidos no âmbito de aplicação do regulamento”.

O artigo único da Decisão 2001/509/CE passa a ter a seguinte redacção:

“A Comunidade Europeia adere ao Regulamento n.º 108 da Comissão Económica para a Europa das Nações Unidas relativo à homologação da produção de pneumáticos recauchutados para

veículos comerciais e seus reboques. A partir de 13 de Setembro de 2006, o cumprimento das disposições do Regulamento n.º 108 tal como constam do anexo passa a ser vinculativo para a colocação no mercado da Comunidade de pneus recauchutados abrangidos no âmbito de aplicação do regulamento”.

2.4.2 NACIONAL

A Directiva 75/422/CEE, de 15 de Julho, foi pela primeira vez transposta para direito interno pelo Decreto-Lei n.º 488/85, de 25 de Novembro. Com a evolução do direito comunitário e as sucessivas alterações da Directiva 75/422/CEE, este Decreto-Lei (DL) foi revogado, primeiro pelo DL n.º 310/95, de 20 de Novembro, depois pelo DL n.º 239/97, de 9 de Setembro e, mais recentemente, pelo DL n.º 178/2006, de 5 de Setembro, sendo este último o que estabelece o actual regime jurídico de gestão de resíduos.

O DL n.º 178/2006, de 5 de Setembro, também conhecido como Lei-Quadro dos Resíduos, aplica-se às operações de gestão de resíduos, às quais compreendem toda e qualquer operação de recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação de resíduos, bem como às operações de descontaminação de solos e à monitorização dos locais de deposição após o encerramento das respectivas instalações.

O princípio da hierarquia das operações de gestão de resíduos é mencionado no seu art. 7.º, de acordo com o qual:

1. A gestão de resíduos deve assegurar que à utilização de um bem sucede uma nova utilização ou que, não sendo viável a sua reutilização, se procede à sua reciclagem ou ainda a outras formas de valorização;
2. A eliminação definitiva de resíduos, nomeadamente a sua deposição em aterro, constitui a última opção de gestão, justificando-se apenas quando seja técnica ou financeiramente inviável a prevenção, a reutilização, a reciclagem ou outras formas de valorização;
3. Os produtores de resíduos devem proceder à separação dos resíduos na origem de forma a promover a sua valorização por fluxos e fileiras;
4. Deve ser privilegiado o recurso às melhores tecnologias disponíveis com custos economicamente sustentáveis que permitam o prolongamento do ciclo de vida dos materiais através da sua reutilização, em conformidade com as estratégias complementares adoptadas noutros domínios.

O DL n.º 178/2006, de 5 de Setembro, é pois o documento legislativo que estabelece os princípios gerais da gestão dos resíduos, o planeamento, as normas técnicas e licenciamento das operações de gestão, o Sistema Integrado de Registo Electrónico de Resíduos (SIRER) e

o Regime económico e financeiro da gestão de resíduos, aplicável a todos os tipos de resíduos, incluindo os PU.

A Directiva do Conselho 1999/31/CE, de 26 de Abril, relativa à deposição de resíduos em aterros e que interdita a deposição de PU nos aterros, foi transposta para o direito interno português pelo DL n.º 152/2002, de 23 de Maio. Na alínea d) do art. 6.º deste DL é referido que não podem ser depositados em aterro PU, com excepção dos pneus utilizados como elementos de protecção num aterro, dos de bicicletas e dos que tenham um diâmetro exterior superior a 1 400 mm.

Encontrando-se interdita a deposição dos PU em aterros, Portugal teve que desenvolver um instrumento regulamentar específico para a gestão deste fluxo de resíduos, o DL n.º 111/2001, de 6 de Abril, que posteriormente foi alterado pelo DL n.º 43/2004, de 2 de Março, que estabelece os princípios e as normas aplicáveis à gestão de pneus, tendo como objectivos a prevenção da produção destes resíduos, a recauchutagem, a reciclagem e outras formas de valorização, por forma a reduzir a quantidade de resíduos a eliminar, bem como a melhoria do desempenho ambiental de todos os intervenientes durante o ciclo de vida dos pneus.

Este diploma, aplicável a todos os pneus colocados no mercado nacional e a todos os PU, estabelece uma hierarquia para a gestão dos PU, conferindo prioridade à prevenção da produção destes resíduos, sem prejuízo da sujeição à legislação em vigor em matéria de segurança e circulação rodoviária, seguindo-se por ordem de preferência a reciclagem e outras formas de valorização.

No caso dos pneus, a redução na fonte já ocorre há algumas décadas. Com as melhorias tecnológicas nas linhas de produção das fábricas de pneus, que contribuíram para a duplicação do tempo de vida útil dos pneus (Santos, 2002).

Na Figura 2.5 apresentam-se alguns factores que podem contribuir para o aumento do período de vida de um pneu e, consequentemente, contribuir para a redução dos resíduos de PU.

De acordo com a alínea c) do art. 2.º do DL n.º 111/2001, de 6 de Abril, a única forma considerada de reutilização dos pneus usados é a recauchutagem. No entanto, de acordo com Campos (2006),

“(...) também é reutilização a colocação em serviço de pneus usados que foram retirados de veículos em fim de vida e que ainda têm banda de rodagem útil sendo comercializados como pneus usados”.



Figura 2.5. Factores determinantes para a redução da produção de resíduos de pneus (adaptado de Campos, 2006).

A reciclagem de PU é definida na alínea h) do art. 2.º do DL n.º 111/2001, de 6 de Abril, como o

“(…) processamento de pneus usados para qualquer fim, que não o inicial, nomeadamente como matéria-prima, excluindo a valorização energética”.

Antes da publicação deste DL, o destino dos PU em Portugal era ou a sua deposição nas lixeiras e aterros municipais, ou a recauchutagem ou a sua valorização energética.

De acordo com o primeiro Plano Estratégico dos Resíduos Urbanos (PERSU I) a quantidade de pneus velhos produzidos em 1995 terá sido entre as 43 540 t a 52 078 t, ou ainda entre 3 a 4 milhões de unidades. Para além da recauchutagem, efectuada nessa altura por mais de 70 empresas mas para a qual não se disponha de valores, uma percentagem significativa de pneus eram incinerados na cimenteira da CIMPOR - Maceira-Liz (Leiria) como fonte de energia. No Quadro 2.11 apresenta-se a evolução das quantidades consumidas por esta indústria. Este destino de valorização fazia de Portugal um dos países europeus com maior taxa de valorização energética em 1990 (Quadro 2.12).

Quadro 2.11. Utilização de pneus usados pela CIMPOR (DGA, 1995).

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Toneladas	7 096	8 354	8 375	7 692	2408*	5 513	4244

* Este valor deve-se ao incêndio verificado no centro de armazenagem de pneus usados.

Quadro 2.12. Destino dos pneus usados nalguns países da C.E.E. para 1990 (adaptado de Castela, 1991).

	Reciclagem e outras aplicações úteis (%)	Incineração (%)	Deposição no solo (%)
Alemanha	20	40	40
França	7	3	90
Inglaterra	9	25	66
Itália	2	8	90
Dinamarca	7	14	79
Espanha	25	0	75
Portugal	10*	40*	50*

(*) Valores estimados por Castela (1991)

No DL n.º 111/2001, de 6 de Abril, é estabelecida a cessão da deposição dos pneus em aterro e são indicadas as seguintes metas que deverão ser garantidas relativamente à recolha de PU, à recauchutagem e reciclagem:

	2003	2007
Recolha de pneus usados	85%	95%
Recauchutagem	25%	30%
Reciclagem (dos pneus recolhidos e não recauchutados)	60%	65%

O DL n.º 43/2004, de 2 de Março, altera a redacção dos artigos 4.º, 9.º e 17.º do DL n.º 111/2001, de 6 de Abril, e o DL n.º 178/2006, de 5 de Setembro revoga o art. 13.º.

Deste modo, o art. 4.º, sobre os objectivos de gestão para PU, passa a ser o seguinte:

1. Deverá ser, desde já, garantida pelos produtores:
 - a. A cessação da deposição de PU em aterro, nos termos constantes da legislação nacional ou comunitária relativa a aterros;
 - b. A recolha de PU numa proporção de, pelo menos, 85% dos PU anualmente gerados;
 - c. A recauchutagem de PU numa proporção de, pelo menos, 25% dos PU anualmente gerados;
 - d. A valorização da totalidade dos pneus recolhidos e não recauchutados, dos quais pelo menos 60 % deverão ser reciclados.
2. Até Janeiro de 2007 deverá ser garantida pelos produtores:
 - a. A recolha de PU numa proporção de, pelo menos, 95 % dos PU anualmente gerados;

- b. A recauchutagem de PU numa proporção de, pelo menos, 30% dos PU anualmente gerados;
- c. A valorização da totalidade dos pneus recolhidos e não recauchutados, dos quais pelo menos 65 % deverão ser reciclados.

E o art. 9.º do DL n.º 111/2001, de 6 de Abril, relativo às regras para a recolha, passa a ter a seguinte redacção:

1. Aquando da comercialização de pneus, os produtores e distribuidores discriminam, num item específico a consagrar na respectiva factura, o valor correspondente à contrapartida financeira fixada a favor da entidade gestora;
2. Os distribuidores não podem recusar-se a aceitar PU contra a venda de pneus do mesmo tipo e na mesma quantidade, devendo remeter os mesmos para recauchutagem ou para os locais previstos no n.º 4;
3. A recolha de PU, mediante entrega nos locais adequados, é feita sem qualquer encargo para o detentor;
4. Os PU recolhidos deverão ser armazenados em locais devidamente autorizados ou licenciados em consonância com a legislação aplicável.

Relativamente à recauchutagem, o Regulamento n.º 108 da Comissão Económica para a Europa das Nações Unidas, foi aprovado pelo Decreto n.º 9/2002, que estabelece disposições uniformes relativas à homologação do fabrico de pneus recauchutados para os automóveis ligeiros de passageiros e seus reboques, e o Regulamento n.º 109 da Comissão Económica para a Europa das Nações Unidas, foi aprovado pelo Decreto n.º 10/2002, o qual estabelece as disposições uniformes relativas à homologação do fabrico de pneus recauchutados para os automóveis de mercadorias, pesados de passageiros e seus reboques, constituem elementos importantes para a garantia da qualidade dos pneus recauchutados.

Destaca-se ainda o DL n.º 80/2002, de 4 de Abril, que estabelece a Direcção-Geral de Viação como entidade competente, em território nacional, para a concessão da homologação do fabrico de pneus recauchutados para os automóveis de mercadorias, de passageiros e respectivos reboques.

2.5 SITUAÇÃO EUROPEIA

Tal como refere Campos (2006), a problemática dos resíduos é transfronteiriça e, como tal, exige legislação coordenada por parte de todos os países. A UE tem procurado dar respostas

à problemática da gestão dos resíduos dentro do espaço comunitário e, com base em análises do ciclo de vida, identificou aqueles que têm mais importância em termos de perigosidade, quantidade ou dificuldade específica de tratamento. Um destes fluxos é o dos pneus usados (PU).

De acordo com ETRMA (2008), em 1959, dois anos após a assinatura, em Roma, do Tratado que institui a Comunidade Europeia, a Associação das Indústrias de Borracha, com 5 fundadores (Figura 2.6), criou o “Bureau de Liaison des Industries du Caoutchouc - BLIC”, com sede em Bruxelas, na perspectiva das novas oportunidades que o ambicioso projecto europeu poderia trazer.



Figura 2.6.
Estados-membros
criadores do BLIC.

Ao longo dos anos, a associação aumentou constantemente a adesão à taxa de construção europeia com a adesão de associações nacionais da indústria da borracha do Reino Unido em 1984, da Espanha em 1986, do Luxemburgo em 1994, da Finlândia e da Suécia em 1997 e aberto aos países candidatos à EU, como a Hungria que se tornou em 1999 um membro associado. Isto levou à representação da indústria de borracha de 13 países da UE (Figura 2.7).



Figura 2.7.
Estados-membros
que fazem parte
da actual ERTMA.

Ainda segundo ETRMA (2008), em 2001 a BLIC modernizou a sua designação para Associação Europeia da Indústria da borracha (European Association of the Rubber Industry - ERTMA), por forma a reflectir melhor a realidade das suas missões e actividades. O ERTMA representa actualmente 4 200 empresas na EU-25.

Os membros (empresas e associações) que constituem actualmente o ETRMA são:

- Empresas da Bridgestone Europe, Continental, Cooper Tire, Goodyear-Dunlop Tires Europe, Marangoni, Michelin, Nokian Tyre, Pirelli Tyre, Trelleborg Wheel Systems e Vredestein.
- Associações de fabricantes nacionais de borracha de Bélgica (Febelplast), Finlândia (RMAF), França (SNCP), Alemanha (WDK), Itália (Federazione Gomma Plastica), Holanda (NVR), Portugal (APIB), Espanha (Consortio), Suécia (SIG) e Reino Unido (BTMA).

O objectivo do ERTMA, segundo ETRMA (2006a), é representar os interesses relacionados com regulamentação e relatar interesses das indústrias de pneus e borracha, tanto a nível

Europeu e internacional. O ETRMA é o único interlocutor, especificamente designado pelos produtores de pneus e borracha para levar a cabo esta tarefa crítica. Para funcionar eficazmente, está envolvido em constantes diálogos com as autoridades da UE e das instituições internacionais, as agências nacionais e de outros sectores da indústria.

Com o surgimento da Directiva Aterros deixam de poder ser depositados em aterros os PU. Embora todos os EM da UE tenham que implementar esta Directiva, são livres de gerir o fluxo de PU de diferentes formas. Actualmente verifica-se na UE a existência de três sistemas legais para a gestão dos pneus em fim de vida, designadamente:

1. Responsabilidade do produtor;
2. Sistema de taxas;
3. Sistema de mercado livre.

No final dos anos 1990, os membros do ETRMA, por iniciativa própria, lançaram uma estratégia da responsabilidade do produtor, no âmbito do "Grupo de trabalho dos pneus usados". O objectivo foi o de antecipar a Directiva Aterro, que representava desafios ambientais e económicos resultantes da proibição de deposição final de pneus no aterro (ETRMA, 2009b).

Assim, com a decisão voluntária da indústria, a definição de "responsabilidade alargada do produtor" encaixa-se perfeitamente no espírito do art. 8.º da Directiva 2008/98/CE, de 19 de Novembro de 2008, relativa aos resíduos, designadamente:

"A fim de reforçar a reutilização, a prevenção, a reciclagem e outros tipos de valorização de resíduos, os EM podem tomar medidas de carácter legislativo ou não legislativo para assegurar que uma pessoa singular ou colectiva que a título profissional desenvolva, fabrique, transforme, trate, venda ou importe produtos (o produtor do produto) esteja sujeita ao regime de responsabilidade alargada do produtor, essas medidas podem incluir a aceitação dos produtos devolvidos e dos resíduos que subsistem depois de esses produtos terem sido utilizados, bem como a subsequente gestão de resíduos e a responsabilidade financeira por essas actividades. Estas medidas podem incluir a obrigação de disponibilizar ao público informações acessíveis sobre até que ponto o produto é reutilizável e reciclável".

Como todos os EM da UE devem transpor as directivas emanadas dos Parlamento e Conselho Europeus, seria de esperar que não existissem assimetrias entre os diferentes EM. Contudo, os EM têm seguido diferentes caminhos para a implementação das directivas, e têm-se registado diferentes velocidades de adaptação das mesmas (Figura 2.8 e Quadro 2.13).

No final de 2004, e de acordo com Campos (2006), Portugal já estava muito próximo dos objectivos definidos na Directiva Aterros, relativamente à proibição de deposição de resíduos de PU, e já tinha feito revisões das primeiras versões em vigor desde 2001. Quando, por exemplo, a vizinha Espanha ainda estudava a implementação de um sistema tendo publicado legislação nesse sentido só em Dezembro de 2005.



Figura 2.8. Países com implementação de sistemas de gestão dos pneus em fim de vida (adaptado de SIGNUS, 2008).

Segundo o mesmo autor, enquanto que em Portugal, França e nos países nórdicos se responsabilizam os produtores pela gestão dos resíduos, a fim de atingir os objectivos fixados na directiva, em países como a Alemanha ou a Inglaterra esses objectivos são fixados mas de forma liberal, ou seja, não é claramente atribuída a responsabilidade a alguns dos intervenientes na cadeia, nem a forma como se devem alcançar esses objectivos. Outros países, como a Dinamarca, optaram por responsabilizar o próprio Estado impondo taxas para financiar o Estado nesse desígnio.

Na prática, a legislação atribui toda a responsabilidade aos produtores (fabricantes e importadores) para organizar a gestão da cadeia de fim-de-vida de pneus, enquanto a comunicação das obrigações para as autoridades nacionais conferem a garantia de um sistema claro e fiável de rastreabilidade.

Os países da UE que ainda não aplicaram o quadro da responsabilidade do produtor (conforme ilustrado no Quadro 2.13), operam actualmente sob um «sistema fiscal» - onde os governos são responsáveis pela recuperação e reciclagem dos pneus, sistema financiado pelos impostos ou ao abrigo de um sistema de "mercado livre", onde os operadores da

cadeia de contracto de valorização em condições de mercado livre devem agir em conformidade com a legislação, que estabelece os objectivos a atingir (ETRMA, 2009b).

Quadro 2.13. Países com implementação de sistemas de gestão dos pneus em fim de vida, entidade gestora, ano de implementação e responsabilidade (adaptado de SIGNUS, 2008).

País	Entidade gestora	Ano de implementação	Responsabilidade
Espanha	SIGNUS	2006	Produtor
Portugal	VALORPNEU	2002	Produtor
França	ALIAPUR	2004	Produtor
Bélgica	RECYTYRE	2004	Produtor
Holanda	BAND & MILIEU	2003	Produtor
Noruega	NORSK DEKKRETUR AS	1995	Produtor
Suécia	SDAB	1995	Produtor
Finlândia	SUOMEN RENGASKIERRÄTYS	1995	Produtor
Estónia	EESTI REHVILIT	2006	Produtor
Polónia	OPON (CENTRUM UTYLIZACJI)	2002	Produtor
Hungria	HUREC	2006	Produtor
Roménia	ECO ANVELOPE	2005	Produtor
Grécia	ECO ELASTIKA	2006	Produtor
Turquia	LASDER/Lastik Sanayicileri Derneği	2008	Produtor
Itália	E.C.O.PNE.US.	2009	Produtor
Irlanda	-	-	Sistema liberal (mercado livre)
Reino Unido	-	-	Sistema liberal (mercado livre)
Alemanha	-	-	Sistema liberal (mercado livre)
Suíça	-	-	Sistema liberal (mercado livre)
Áustria	-	-	Sistema liberal (mercado livre)
Croácia	-	-	Sistema liberal (mercado livre)
Bulgária	-	-	Sistema liberal (mercado livre)
Dinamarca	-	-	Governo financiado através de uma responsabilidade fiscal
Eslovénia	-	-	Governo financiado através de uma responsabilidade fiscal
Eslováquia	-	-	Governo financiado através de uma responsabilidade fiscal

No caso de Espanha, por exemplo, e de acordo com SIGNUS (2008), a boa gestão dos PU gerada cai na regulamentação do Real Decreto 1619/2005, em que os principais fabricantes de pneus, os distribuidores, gestores e outros sectores, têm a responsabilidade de garantir a correcta gestão dos PU. Este Decreto Real enquadra-se dentro do estabelecido pela Lei 10/98 de Resíduos e o Plano Nacional Integral de Resíduos 2008-2015, aprovado em Conselho de Ministros de Dezembro de 2008.

O Real Decreto 1619/2005 define, em primeiro lugar, os principais conceitos, incluindo o produtor de pneus. Define, em seguida, a obrigação de elaborar planos de negócios que identifiquem mecanismos de prevenção da produção de prolongar a vida dos pneus e facilitar a reutilização e reciclagem de pneus no final da sua vida útil. Os produtores também são obrigados a assumir a gestão de resíduos de produtos e para garantir a recolha e gestão em conformidade com os princípios da hierarquia estabelecida na Lei 10/1998 de 21 de Abril de Resíduos (Granada, 2006).

Ainda no mesmo Real Decreto, as obrigações dos produtores podem ser feitas directamente através da organização do próprio sistema de gestão, através de acordos voluntários ou de acordos de colaboração ou participação em organização de sistemas de gestão de pneus, aprovado pelas respectivas comunidades autónomas. Estes sistemas têm uma estrutura, conteúdo e financiamento semelhantes aos sistemas de gestão actualmente em operação para outros tipos de resíduos, tendo em conta as peculiaridades dos pneus (Granada, 2006).

Também determina o regime jurídico para as actividades de gestão. Os proprietários que trabalham na recolha, transporte e armazenamento devem notificar as comunidades autónomas como a valorização e eliminação estão sujeitas a autorização, conforme previsto no Capítulo II da Lei 10/1998 de 21 de Abril de Resíduos. Além disso, este Real Decreto determina a forma de realizar o armazenamento e exige o cumprimento de certos requisitos técnicos na instalação. Estes requisitos técnicos são para completar as disposições do Real Decreto 1383/2002, de 20 de Dezembro, da gestão do veículo em fim de vida em relação ao armazenamento dos seus componentes extraídos, incluindo PU. De acordo com Campos (2006), as competências e forma de financiar as entidades gestoras, são semelhantes à desenhada em Portugal.

Mas em França, conforme a Aliapur (2009a), o Decreto 2002-1563, de 24 de Dezembro, resumidamente menciona que:

- É proibido a abandonar ou queimar pneus na natureza;
- A valorização é preferida à destruição;
- Todos os PN vendidos em França, em qualquer forma que seja, devem ser valorizados;
- Os produtores podem-se unir para assumir colectivamente as suas obrigações;
- Os distribuidores de PN devem recolher os PU dentro dos limites das suas vendas anuais;
- A eliminação das existências antes da data de aplicação do decreto é de responsabilidade de seus respectivos proprietários.

No ETRMA (2006b), é feita uma representação do ciclo de vida do PU que é adoptado por todos os países que atribuem a responsabilidade ao produtor, tal como: Portugal, Espanha e França. Neste sistema, representado na Figura 2.9, uma empresa ou consórcio nacional é criado e os produtores contribuem para um fundo comum que cobre o custo de recolha, reciclagem e valorização.

Os membros das associações nacionais e consórcios incluem geralmente os fabricantes nacionais e os principais importadores. Este sistema parece ser o mais adequado e robusto para enfrentar e resolver o fim dos pneus que surjam, de forma sustentável a longo prazo, e para atingir uma taxa de recuperação de 100 %, na forma mais económica. Para o usuário final, este sistema garante transparência dos custos através de um contributo visível, claramente indicados nas facturas.

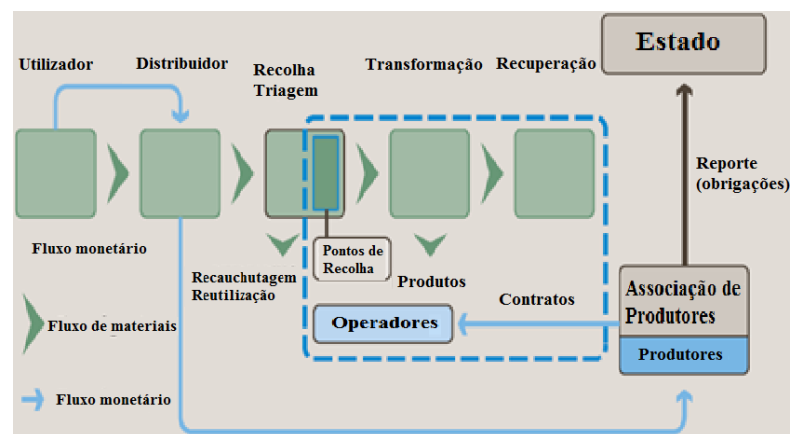


Figura 2.9. Ciclo de vida do pneu usado tendo em conta o fluxo de material e o fluxo económico (adaptado de ETRMA, 2006b).

2.6 SISTEMAS DE GESTÃO DE PNEUS USADOS

2.6.1 CASO DE PORTUGAL

Na sequência do DL n.º 111/2001, de 6 de Abril, os produtores devem submeter a gestão de pneus usados (PU) a um sistema integrado, isto é, a responsabilidade dos produtores pela gestão de PU deve ser transferida para uma entidade gestora do sistema integrado, desde que devidamente licenciada para exercer essa actividade.

Ainda de acordo com este DL, a entidade gestora deve ser uma entidade sem fins lucrativos, em cuja composição poderão figurar, além dos produtores, os distribuidores, os recauchutadores, recicladores e valorizadores, apresentando as competências indicadas na Figura 2.10.

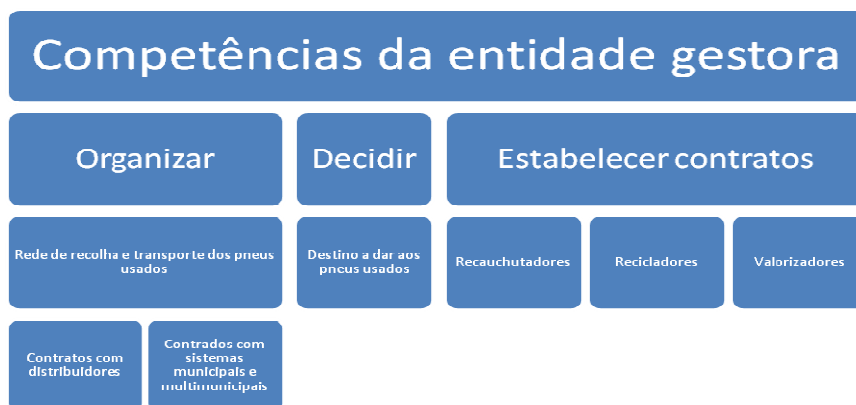


Figura 2.10. Competências da entidade gestora segundo o DL n.º 111/2001, de 6 de Abril.

No seguimento da publicação deste DL, foi criada a Valorpneu – Sociedade de Gestão de Pneus Lda., em 27 de Fevereiro de 2002. Trata-se de uma sociedade por quotas, constituída pela ACAP – Associação do Comércio Automóvel de Portugal (60 %), pela ANIRP – Associação Nacional dos Industriais de Recauchutagem de Pneus (20 %) e pela APIB – Associação Portuguesa dos Industriais de Borracha (20 %) (Valorpneu, 2009c).

“A ACAP é uma associação de utilidade pública, sem fins lucrativos, que representa a totalidade da actividade comercial do sector automóvel. Integra igualmente nos seus associados os produtores de pneus. A actividade desta associação abrange a importação, o comércio e o serviço pós-venda de veículos automóveis, máquinas agrícolas e industriais, pneus, peças e acessórios, reboques de campismo e caravanas, motociclos e outros sectores ligados à actividade do comércio de transporte”. (Valorpneu, 2009c).



“A ANIRP é uma associação sem fins lucrativos, que representa como seus associados as indústrias de recauchutagem de pneus que operam no território nacional”. (Valorpneu, 2009c).



“A APIB é uma associação sem fins lucrativos, que tem como associados as indústrias de borracha cuja actividade compreende o fabrico de pastas ou misturas de borracha e outros elastómeros, o fabrico de artefactos incluindo calçado de borracha vulcanizada e componentes e o fabrico de pneus e câmaras-de-ar”. (Valorpneu, 2009c).



Esta entidade gestora foi licenciada a 10 de Outubro de 2002 pelos Ministérios da Economia e das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente. A licença concedida foi atribuída por 5 anos e abrange, apenas, o território de Portugal Continental. O Sistema Integrado de

Gestão de Pneus Usados (SGPU), criado pela Valorpneu, iniciou o seu funcionamento a 1 de Fevereiro de 2003.

No âmbito do SGPU, a responsabilidade do produtor termina quando o pneu é, de acordo com o n.º 3 do art. 6.º do DL n.º 111/2001, de 6 de Abril:

- a) Confiado a uma entidade licenciada para a sua recauchutagem;
- b) Confiado a uma entidade licenciada para a sua reciclagem (trituração), não havendo assunção de responsabilidade posterior relativamente ao destino a dar aos materiais triturados;
- c) Confiado a uma entidade licenciada para a sua incineração para recuperação energética, não havendo assunção posterior relativamente às cinzas e gases gerados, e ainda;
- d) Confiado a uma entidade que promova a valorização em construção civil e obras públicas.

Através do Despacho n.º 31203/2008 dos Ministérios do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional e da Economia e da Inovação, de 4 de Dezembro, foi concedida à Valorpneu, a nova licença para exercer a actividade de gestão de PU, com efeitos a partir de 7 de Outubro de 2008 e que vigora até 31 de Dezembro de 2012.

“O SGPU define-se como sendo um sistema articulado de processos e responsabilidades que visa o correcto encaminhamento dos pneus em fim de vida, eliminando a deposição em aterro e promovendo a recolha, separação, retoma e valorização. Este sistema é financiado pela cobrança de um Ecovalor aquando da venda de um pneu introduzido no mercado nacional (novo ou usado)” (Valorpneu, 2009b).

Os pneus abrangidos pelo SGPU são todos os pneus comercializados a nível nacional, designadamente:

- Pneus de veículos ligeiros de passageiros/turismo;
- Pneus de veículos 4x4 *on/off road*;
- Pneus de veículos comerciais;
- Pneus de veículos pesados;
- Pneus de veículos agrícolas (diversos);
- Pneus de veículos agrícolas (rodas motoras);
- Pneus de veículos industriais (com diâmetro de jante compreendido entre 8" e 15");
- Pneus maciços;

- Pneus de veículos de engenharia civil (até à dimensão 24");
- Pneus de veículos de engenharia civil (dimensões iguais ou superiores a 24");
- Pneus de motos (com cilindrada superior a 50 cc.);
- Pneus de motos (com cilindrada até 50 cc.);
- Pneus de aeronaves;
- Pneus de bicicletas.

O SGPU inicia-se com a inserção de pneus novos ou usados no mercado nacional. Qualquer empresa que importe pneus novos ou usados tem de celebrar um contrato com a Valorpneu, para que se possa facturar o Ecovalor respectivo dos pneus importados. Cada pneu introduzido no mercado nacional deve pagar uma única vez o Ecovalor.

É este Ecovalor, devido aquando da venda de um pneu e cobrado pelos Produtores de pneus, que financia o sistema da Valorpneu e que remunera a prestação do seu serviço e financia as campanhas de comunicação e actividades de investigação e desenvolvimento, tal como representado esquematicamente na Figura 2.11 (Valorpneu, 2009b).

No caso de veículos ligeiros/turismo o valor do Ecovalor manteve-se constante e igual a 0,80 €/pneu no período de 2003 a 2007, em 2008 e 2009 o valor estabelecido foi de 1,00 €/pneu.

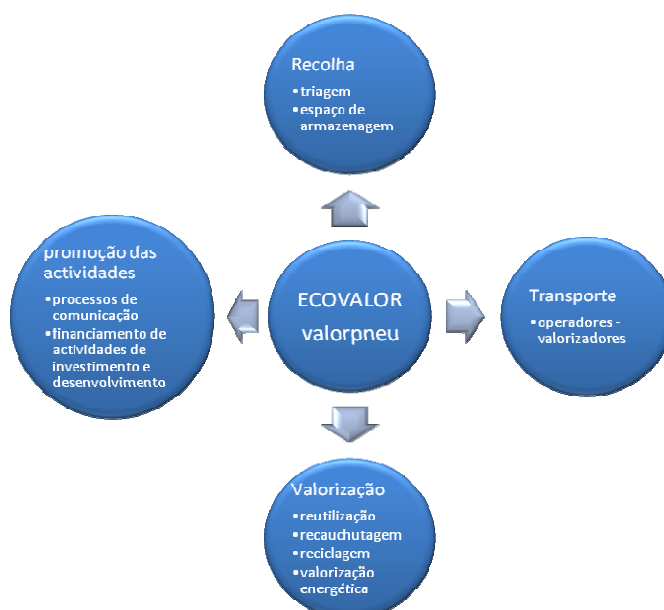


Figura 2.11. Aplicação do Ecovalor do SGPU (adaptado de Valorpneu, 2009b).

O modelo de funcionamento do SGPU é apresentado na Figura 2.12, no qual se podem identificar e caracterizar os diversos actores intervenientes no sistema de gestão dos pneus em fim de vida, os quais apresentam vários direitos e responsabilidades.

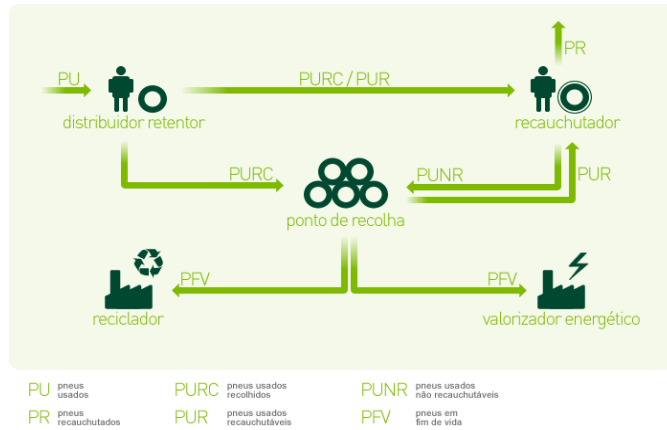


Figura 2.12. Modelo de funcionamento do SGPU (Valorpneu, 2009b).

Quando os PU chegam aos **distribuidores/detentores**, estes poderão entregá-los nos pontos de recolha, livres de encargos. Poderão, igualmente, se assim o entenderem, cedê-los aos recauchutadores. Nesta situação encontram-se quaisquer operadores, empresas ou entidades (oficinas, estações de serviço, lojas especializadas, desmanteladores, grandes frotistas, autarquias, particulares, etc.), que por qualquer motivo detenham PU. Os distribuidores de pneus não poderão recusar-se a aceitar PU contra a venda de pneus do mesmo tipo e na mesma quantidade.

Os **recauchutadores** poderão colocar nos pontos de recolha os PU resultantes da triagem de carcaças para recauchutar, sem quaisquer custos. Os recauchutadores, se assim o entenderem, poderão também adquirir carcaças para recauchutar nos pontos de recolha.

Os **pontos de recolha** são locais de armazenamento temporário de PU, os quais funcionam como um “reservatório” a montante dos valorizadores. Estes operadores aceitam, livres de encargos, qualquer tipo de pneus. Os dois grandes objectivos dos pontos de recolha consistem em:

- Controlar e quantificar todos os fluxos de PU encaminhados para valorização e outros destinos, e
- Disponibilizar uma rede de recolha adequada e distribuída uniformemente por Portugal.

Por fim, mediante uma contrapartida financeira (o Ecovalor) e de acordo com as metas legais existentes, os **recicladores** e **valorizadores energéticos** fecham o ciclo do SGPU,

recebendo os pneus em fim de vida provenientes dos pontos de recolha, e processando-os em granulado de borracha (no caso dos recicladores), ou energia (no caso dos valorizadores energéticos).

O transporte dos pneus em fim de vida, desde os pontos de recolha até aos Valorizadores, é assegurado pelos **transportadores**, e é controlado e financiado pela Valorpneu.

Na Figura 2.13, apresenta-se o modelo do fluxo material e financeiro dos PU em Portugal.

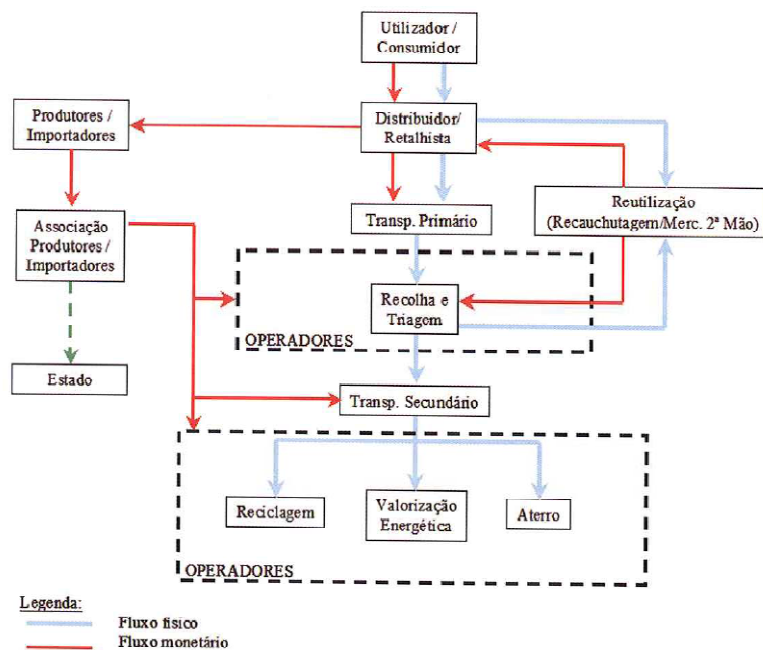


Figura 2.13. Fluxo material e financeiro dos pneus usados em Portugal (Ferreira e Menezes, 2005).

A Figura 2.14 caracteriza a logística inversa do SGPU, a qual, segundo Moura (2006), pode ser definida como:

(...) o processo de planeamento, implementação e controlo da eficiência e eficácia e dos custos, dos fluxos de matérias-primas, produtos em curso, produtos acabados e informação relacionada, desde o ponto de consumo até ao ponto de origem, com o objectivo de recapturar valor ou [realizar] a deposição adequada.

Os processos logísticos, associados à recolha e reciclagem de resíduos, são um dos objectos da logística inversa que, mais genericamente, abarca os processos associados aos fluxos de produtos (e de informação associada) de sentido oposto ao fluxo convencional da cadeia de abastecimento (*i.e.* dos utilizadores/consumidores para reutilizadores e valorizadores), tendo em vista a recuperação ou criação de valor ou tratamento adequado e deposição.

A actividade de logística inversa da Valorpneu é bastante dinâmica e assume um papel fundamental no funcionamento do SGPU. O seu principal objectivo é garantir o

encaminhamento correcto, e atempadamente, das centenas de toneladas de PU que diariamente entram nos pontos de recolha. O sucesso depende em grande parte de um eficiente planeamento, o qual está assente numa gestão precisa da informação. Os diversos parâmetros envolvidos incluem a gestão dos níveis de '*stock*' dos pontos de recolha, as necessidades/limitações dos Valorizadores, a disponibilidade da rede de transportes, entre outros (Valorpneu, 2006b).

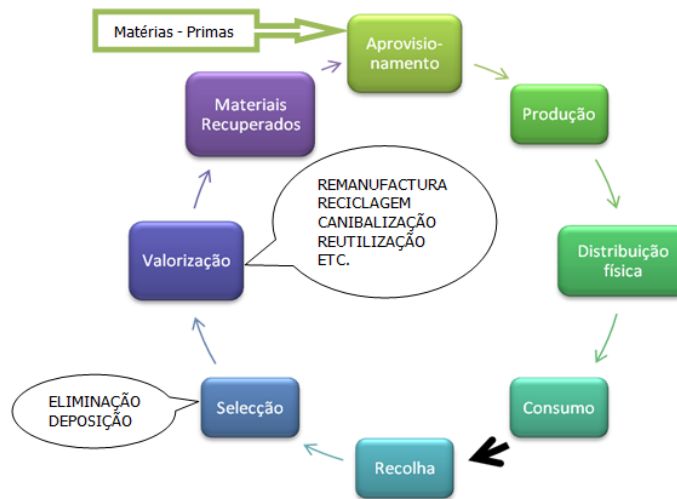


Figura 2.14. Representação esquemática da logística inversa (adaptado de Moura, 2006).

De acordo com a Valorpneu, os resultados finais atingidos pelo SGPU, de pneus novos e usados que pagaram o Ecovalor, durante o período de 2005 a 2008, encontram-se quantificados no Quadro 2.14 e Quadro 2.15, respectivamente.

Pelo Quadro 2.14, verifica-se que a quantidade de PN colocados no mercado no período em estudo tem aumentado gradualmente ao longo dos anos. Analisando as quantidades por categoria de pneus, observa-se que os pneus comercial, pesado, e engenharia civil e maciços, diminuíram em 2008. Sendo que, os pneus agrícola, maciço e moto (até 50 cc.), após de uma diminuição nas quantidades em 2007, verifica-se em 2008 um aumento. De realçar que na categoria industrial, as quantidades no mercado tem sofrido um decréscimo, tal poder-se-á dever à crise económica que se tem vindo a verificar.

No Quadro 2.15, verifica-se que a quantidade de PU, recolhidos no período em análise, tem aumentado gradualmente ao longo dos anos. Analisando as quantidades por categoria de pneus, observa-se que os pneus ligeiro de passageiros/turismo, 4x4 "on/off road", comercial e pesado, diminuíram em 2008. Sendo que os pneus agrícola, maciço engenharia civil e maciços (< 24"), moto (> 50cc.) e moto (até 50 cc.), depois de uma queda em 2007, registaram um aumento em 2008. De realçar que na categoria industrial, as quantidades no

mercado têm sofrido um decréscimo, tal poder-se-á dever, também, à crise económica que se tem vindo a verificar.

Quadro 2.14. Quantidades totais de pneus novos, em número de unidades, colocadas no mercado nacional durante o período de 2005 a 2008, no âmbito do SGPU gerido pela Valorpneu (adaptado de: Valorpneu, 2005, 2006a, 2007a e 2008).

Código	Categoria	2005 (unidades)	2006 (unidades)	2007 (unidades)	2008 (unidades)
T	Ligeiro de passageiros/Turismo	4 283 259	4 573 489	4 791 158	4 851 470
4x4	4x4 "on/off road"	226 302	244 914	252 471	261 095
C	Comercial	709 062	700 337	769 164	734 599
P	Pesado	323 670	343 761	365 773	349 900
A1	Agrícola (diversos)	74 032	91 766	77 012	83 391
A2	Agrícola (rodas motoras)	33 953	36 320	37 141	42 553
E1	Industrial (8" a 15")	17 299	30 288	26 083	24 088
E2	Maciço ($\leq 15"$)	14 347	23 510	19 758	21 845
G1	Eng. Civil e Maciços ($< 24"$)	5 133	6 160	5 566	6 105
G2	Eng. Civil e Maciços ($\geq 24"$)	685	6 996	8 273	8 116
M1	Moto ($> 50\text{cc.}$)	170 860	164 575	170 951	214 009
M2	Moto (até 50 cc.)	159 415	218 392	213 192	419 113
F	Aeronaves	0	2	10	2 331
Totais		6 023 717	6 440 510	6 736 552	7 018 615

Quadro 2.15. Quantidades totais, em número de unidades, de pneus usados gerados durante o período de 2005 a 2008, no âmbito do SGPU gerido pela Valorpneu (adaptado de: Valorpneu, 2005, 2006a, 2007a e 2008).

Código	Categoria	2005 (unidades)	2006 (unidades)	2007 (unidades)	2008 (unidades)
T	Ligeiro de passageiros/Turismo	4 107 994	4 428 685	4 732 523	4 619 866
4x4	4x4 "on/off road"	239 864	253 620	262 478	260 274
C	Comercial	655 281	692 299	747 831	705 337
P	Pesado	646 859	699 134	735 290	703 010
A1	Agrícola (diversos)	62 265	84 394	72 095	77 273
A2	Agrícola (rodas motoras)	26 524	33 910	35 008	36 243
E1	Industrial (8" a 15")	20 436	32 838	28 655	26 895
E2	Maciço ($\leq 15"$)	12 970	19 408	16 548	17 125
G1	Eng. Civil e Maciços ($< 24"$)	9 560	10 236	9 079	9 876
G2	Eng. Civil e Maciços ($\geq 24"$)	10 692	12 698	13 211	13 310
M1	Moto ($> 50\text{cc.}$)	109 588	113 439	104 850	165 941
M2	Moto (até 50 cc.)	136 324	190 261	185 318	364 033
F	Aeronaves	0	2	10	2 331
Totais		6 038 357	6 570 924	6 942 896	7 001 514

Salienta-se ainda que a quantidade de PU é superior à quantidade de PN colocados no mercado, devido aos pneus recauchutados que se colocam novamente no mercado e são novamente contabilizados (Valorpneu, 2007b).

Segundo o Relatório Anual & Contas 2007 (Valorpneu, 2007a), a quantidade de PN e PU tem vindo a aumentar nos últimos anos, este facto deve-se não só ao crescimento do mercado dos pneus, mas igualmente ao esforço que a Valorpneu tem vindo a desenvolver para incrementar a abrangência do seu sistema, especialmente ao nível dos produtores e recauchutadores aderentes. No mesmo relatório é ainda referido que a Valorpneu aceita gratuitamente e promove o tratamento adequado dos pneus de bicicleta, no entanto não procedeu à recolha de dados junto dos respectivos produtores.

Nos gráficos da Figura 2.15, encontram-se as percentagens dos diferentes destinos dados aos PU recolhidos pela Valorpneu, nos anos de 2005 a 2008.

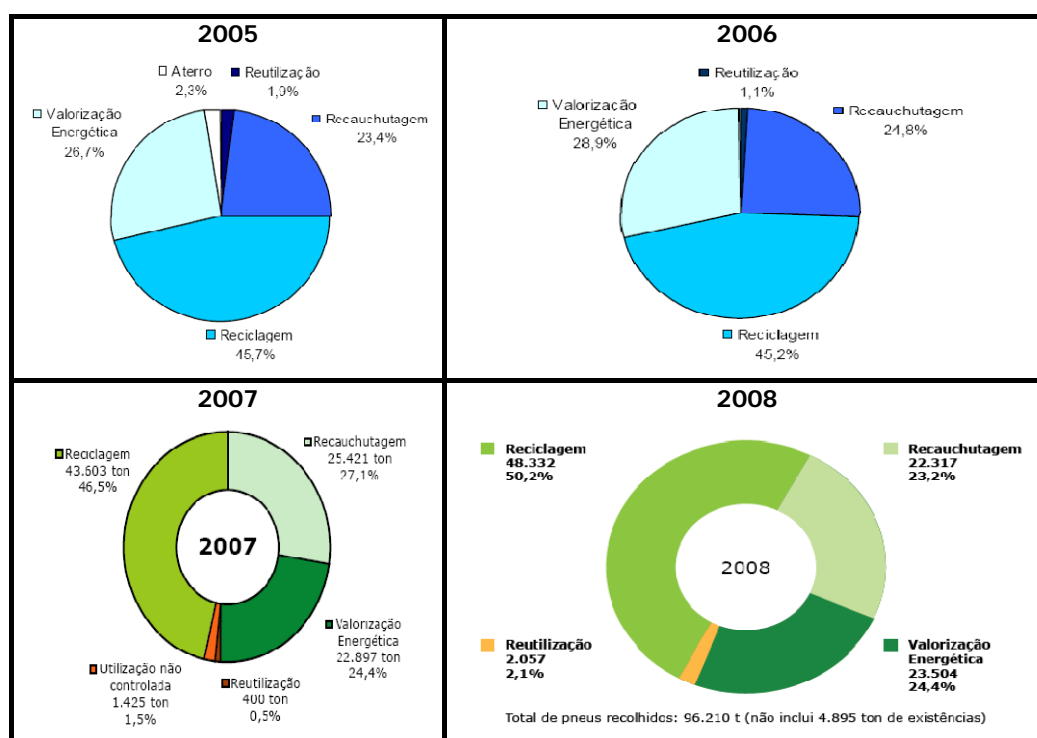


Figura 2.15. Evolução da distribuição dos pneus usados processados por tipo de destino, de 2005 a 2008 (Valorpneu, 2005, 2006a, 2007a e 2008).

Pela observação dos gráficos da figura anterior, constata-se que após 2005 os PU deixaram de ter como destino final o aterro. A percentagem de reutilização diminui até 2007, depois regista-se um acréscimo significativo. A percentagem de recauchutagem aumenta até 2007 e em 2008 observa-se um decréscimo. A reciclagem aumenta ao longo dos anos, tal facto pode-se dever ao mercado que se tem demonstrado mais flexível aos produtos reciclados. A valorização energética tem o seu pico em 2006, diminuindo em 2007 e mantendo-se constante em 2008.

2.6.2 CASO DE ESPANHA

Em Espanha só nos últimos anos, se tem verificado uma gestão dos pneus usados (PU). Os PU normalmente eram entregues em oficinas, que teriam que lhes dar um fim adequado e suportar os custos de gestão, por iniciativa própria ou designando-o a um gestor autorizado. Os resíduos gerados poucos interesses suscitavam devido à evolução do mercado e valorização do elevado custo do tratamento. Portanto, a gestão das infra-estruturas foi quase inexistente e apenas gerido correctamente geravam uma margem de lucro, os restantes PU que não eram geridos, na melhor das hipóteses, acabavam em aterros, sendo que muitos outros eram enterrados ou acumulados ilegalmente.

Com a aplicação da legislação europeia relativa à proibição da deposição de pneus em aterros, foi-lhes dada um forte potencial de valorização que deve ser usado tanto como matérias-primas secundárias ou como um combustível alternativo. No entanto, a falta de alternativas ao aterro foi deteriorando cada vez mais a situação.

Para prevenir a deposição em aterro, e dado que os próprios agentes do mercado não garantem a gestão adequada de todos os PU gerado, desenvolveu-se e publicou-se o Real Decreto 1619/2005, de 30 de Dezembro de gestão de PU, o que exige que os produtores assegurem a recolha e gestão adequada dos mesmos.

Os principais fabricantes de pneus envolvidos no desenvolvimento do presente Decreto, em conjunto com os comerciantes, gerentes e outros, concordaram em criar uma entidade sem fins lucrativos que darão resposta definitiva ao difícil desafio de garantir a correcta gestão e utilização dos PU, na sua responsabilidade, com o maior respeito pelas leis e para o ambiente. Assim, surgiu o Signus Ecovalor.

Segundo a Signus (2007), a Sociedade Signus Ecovalor S.L. foi legalmente constituída no dia 19 de Maio de 2005. Os membros fundadores foram as cinco principais empresas produtoras de substituição de pneus, designadamente: Bridgestone Hispania, S.A.; Continental Tires, S.L.; Goodyear Dunlop Tires Espanha, S.A.; Michelin Espanha e Portugal, S.A.; Pirelli Neumáticos, S.A.

Neste sentido, e em conformidade com o art. 2. k) do Real Decreto, o Signus é definido como:

O conjunto de relações, processos, mecanismos e acções que, após a aprovação pelo governo estadual em cujo território se localiza, e sujeitas a fiscalização por eles, levadas a cabo pelos produtores de pneus, juntamente com os restantes agentes económicos, através de acordos

voluntários ou outros instrumentos de partilha de responsabilidades, com o objectivo de garantir a boa gestão dos pneus usados (Signus, 2007).

Conforme o relatório da Signus (2006), para garantir que o processo de reciclagem ocorra de forma correcta num ponto de vista ambiental, o Signus efectua a gestão desde a recolha gratuita dos PU em todos os pontos de produção até à entrega dos mesmos às empresas valorizadoras, que certificam a sua completa recuperação. Para que se possa levar a cabo este processo, é necessário que intervenham diferentes gestores que garantam que os PU estão a ser tratados de forma ambientalmente correcta.

No **centro de Recolha e classificação**, as actividades de gestão de PU começam pela recolha em todos os pontos de produção do território por parte dos recolhedores seleccionados pela Signus. A fim de obter o máximo aproveitamento possível dos PU, os centros de recolha e classificação realizam uma classificação dos PU, separando para a reutilização aqueles que têm um potencial de utilização, quer directamente, quer após um processo de recauchutagem. Os outros pneus que tenham atingido o fim de vida útil, devem ser tratados de modo mais aptos a partir de um ponto de vista ambiental.

Enquanto que no **centro de armazenagem e preparação**, se depositam os PU precedentes de vários centros recolha, com o fim de realizar um pré-tratamento dos mesmos que consiste, geralmente, numa trituração adequada para o tipo de valorização para o qual se destinam.

São consideradas **recicladoras** as empresas cujo processo de produção utilize os PU, com o objectivo de aproveitar os recursos materiais ou energéticos que contêm. O Signus realiza o processo de recuperação através de acordos com empresas que utilizam PU. Em alguns casos, especificamente para a produção de granulados a serem utilizados para diversas aplicações. Em outros, aplicando directamente o pneu triturado em projectos geotécnicos.

Os pneus abrangidos pelo Signus são todos os pneus comercializados no território espanhol, nomeadamente:

- Moto, Scooter e derivados;
- Veículo ligeiro;
- Camioneta;
- 4x4 todo terreno;
- Pneus de pequena movimentação e maciço;
- Agrícola;

- Camião;
- Pneus de manutenção ligeira.

O processo de gestão de PU segue o esquema apresentado na Figura 2.16.

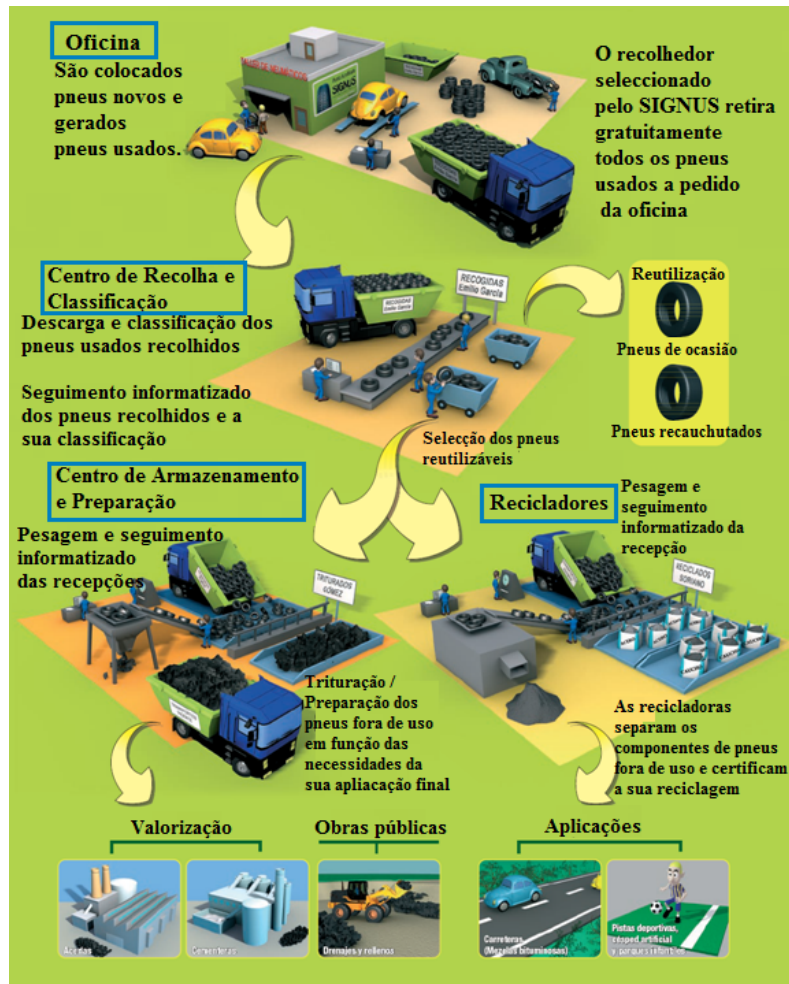


Figura 2.16. Modelo de funcionamento do Signus (Signus, 2006).

2.6.3 CASO DE FRANÇA

A Aliapur, sociedade de referência na valorização dos pneus usados (PU), é uma sociedade anónima que gere o sistema de PU em França desde 2004. É uma sociedade limitada cujos membros fundadores são: Bridgestone, Continental, Dunlop Goodyear, Kleber, Michelin e Pirelli. Os fundadores, os produtores das principais marcas de pneus, dão cumprimento ao quadro legislativo de Dezembro de 2002, relativo à eliminação de pneus em fim de vida, que determina obrigações ambientais para os fabricantes e importadores (Aliapur, 2009b).

O objectivo da Aliapur centra-se sobretudo em neutralizar os riscos ambientais que podem ter origem dos PU. A longo prazo, criar uma economia industrial equilibrada e estruturada

em dois princípios fundamentais: eficácia ambiental e de equilíbrio económico (Aliapur, 2009b).

De acordo com a Valorpneu (2007b):

“O custo da gestão ambiental é suportado pelos produtores, sem repercussão nas facturas ao consumidor final, e reproduz a soma de todos os custos incorridos desde a recolha porta à porta do pneu usado até à reciclagem e valorização final do mesmo.

A Aliapur consagra uma parte importante do seu orçamento à investigação e desenvolvimento no domínio industrial e ao apoio a projectos que incorporem pneus usados, desde que estes projectos sejam ecologicamente aceitáveis, inovadores, incitem ou respondam às necessidades do mercado, gerem um valor acrescentado e se inscrevam numa lógica de redução de custos a termo para a empresa”.

Conforme a Aliapur (2009b), os **produtores** são os que colocam PN no mercado francês, designadamente:

- Aqueles que fabricam e vendem pneus (produtor);
- Aqueles que importam ou introduzem pneus (a distribuição de importação);
- Aqueles que colocam no mercado a sua marca de pneus (alguns distribuidores);
- Aqueles que importam ou introduzem veículos equipados com pneus (fabricantes de veículos fabricados no estrangeiro, importados ou introduzidos no mercado Francês).

Ainda de acordo com a Aliapur (2009b), os **distribuidores** são todos aqueles que vendem PN, nomeadamente:

- Garagens, redes de reparação e empresa de distribuição que vendem PN,
- Lojas de automóveis, garagens que vendem veículos usados equipados com PN.

Relativamente aos **detentores** são consideradas:

- As empresas que possuem PU para o seu trabalho;
- As comunidades locais que fizeram a recolha.

Os **recicladores** são quaisquer operadores de uma instalação de eliminação de PU, com excepção das instalações de recolha que foram aprovados para esse fim. Não estão sujeitas a esta exigência de licenciamento operadores que utilizam os pneus para o trabalho público, o trabalho de enchimento, de engenharia civil ou silagem.

O processo de gestão de PU segue o seguinte esquema, apresentado na Figura 2.17.

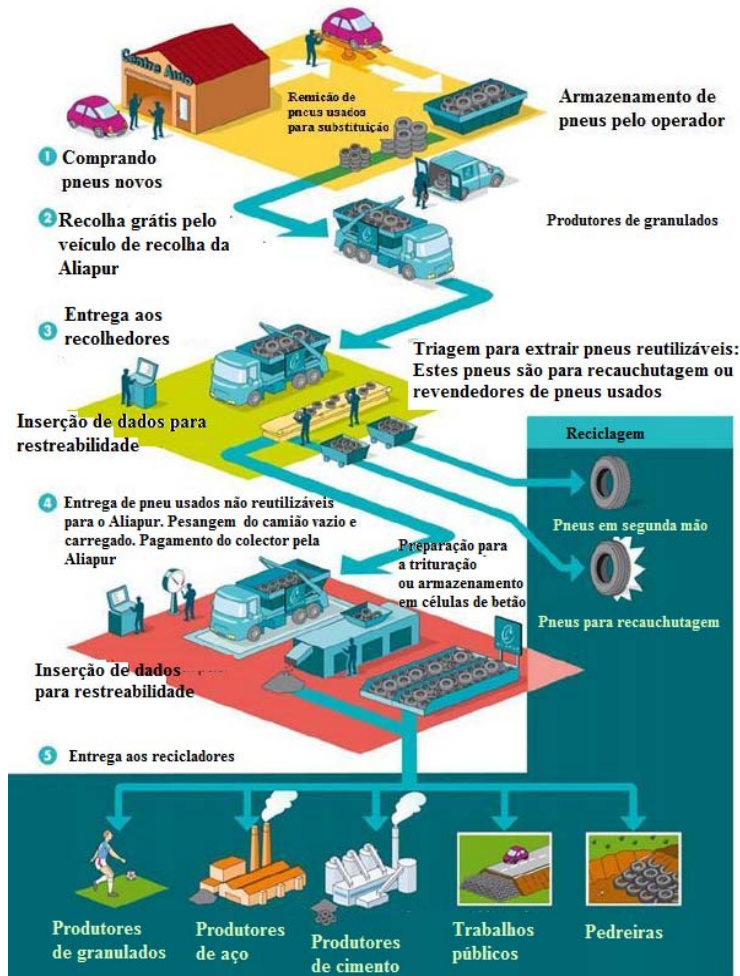


Figura 2.17. Modelo de funcionamento da Aliapur (adaptado de Aliapur, 2004).

2.7 REUTILIZAÇÃO, RECAUCHUTAGEM E TECNOLOGIA DE VALORIZAÇÃO DE PNEUS

No DL n.º 111/2001, a valorização de pneus usados (PU) é definida como a

“operação que visa a sua utilização para outros fins que não os iniciais, nomeadamente a reciclagem de pneus, a valorização energética, bem como a sua utilização em trabalhos de construção civil e obras públicas, a sua utilização como protecção de embarcações, molhes marítimos ou fluviais e no revestimento dos suportes dos separadores de vias de circulação automóvel”.

De acordo com a OECD (2006), existem quatro opções possíveis para colocar os PU nos circuitos económicos, cujos governos tentam promover, são eles a: reutilização, recauchutagem, reciclagem e valorização energética.

Cada tipo de opção de valorização do PU é descrita em mais pormenor nos subcapítulos seguintes.

2.7.1 REUTILIZAÇÃO

De acordo com DL n.º 178/2006, de 5 de Setembro, entende-se por «Reutilização»:

“a reintrodução, sem alterações significativas, de substâncias, objectos ou produtos nos circuitos de produção ou de consumo de forma a evitar a produção de resíduos”.

Para a Valorpneu (2009b) a reutilização é o

“aproveitamento do pneu, que ainda se encontra em condições, sendo de novo colocado no mercado para continuar a ser utilizado para o mesmo fim (reutilização meio-piso), ou aproveitamento do pneu, sem necessidade de qualquer pré-processamento, para utilização em fim diverso do qual foi concebido (reutilização para outros fins)”.

Os pneus usados podem ser reutilizados em várias aplicações, tais como:

- Recifes artificiais (Figura 2.18), onde é “utilizado como estruturas alongadas com diversos pneus amarrados como recifes artificiais, no mar, criando ambiente adequado para reprodução de animais marinhos” (Specht, 2004);



Figura 2.18. Estrutura tetraédrica usada no recife artificial (Simm, 2005).

- Elementos de protecção de molhes marítimos (Figura 2.19) e de barcos (Figura 2.20);



Figura 2.19. Estrutura de protecção de molhes marítimos utilizando pneus usados (Simm, 2005).



Figura 2.20. Estrutura de protecção de barcos utilizando pneus usados (Simm, 2005).

- Protecção contra a erosão costeira (Figura 2.21);



Figura 2.21. Estrutura de protecção da zona costeira (Simm, 2005).

- “Muros de retenção (Figura 2.22) ou na construção de túneis, para evitar o contacto directo entre as rochas desprendidas dos maciços e a laje superior do túnel”. (Valorpneu, 2009d);
- Construção de edificações (Figura 2.23), segundo Specht (2004) os pneus inteiros ao serem preenchidos com material granular ou solo local, apresentam um excelente isolamento térmico, acústico e flexibilidade para absorver possíveis recalques nas fundações;
- Barragens, utilizando pneus inteiros. A Figura 2.24 apresenta uma barragem executada em bacia de retenção. (Kamimura, 2002);
- Sistema de armazenagem de água para relvados utiliza PU cortados ao meio, distribuído em camada sob o relvado de campos de golf, futebol, etc. (Figura 2.25) (Kamimura, 2002);
- Estruturas de absorção de energia ou barreiras de inércia;
- Na manufactura de solas de sapato (Valorpneu, 2009d).



Figura 2.22. Exemplo de muro de retenção (Simm, 2005).



Figura 2.23. Aplicação do concreto em torno de fardos de pneus, e bloco de concreto como produto final (Simm, 2005).



Figura 2.24. Parede de ECOFLEX em bacia de retenção (Kamimura, 2002).



Figura 2.25. Execução de um relvado e num campo de golf (Kamimura, 2002).

2.7.2 RECAUCHUTAGEM

A recauchutagem de acordo com Campos (2006) é uma:

“operação pela qual um pneu já utilizado, após cumprir o seu ciclo de vida, é reconstruído de modo a permitir a sua utilização para o mesmo fim para o qual foi projectado”.

Mas para a valorpneu (2009d):

“a recauchutagem de pneus é um processo que transforma pneus usados, designados nesta indústria, por carcaças, que não apresentem danos estruturais, em pneus capazes de serem reutilizados, através da deposição de um novo piso”.

Segundo Specht (2004), o pneu pode ser recauchutado, aproximadamente, três vezes, dependendo do estado de conservação da carcaça. A produção de pneus recauchutados está concentrada principalmente em pneus de camiões, veículos ligeiros de passageiros, e pneus de aviões.

A recauchutagem é feita ao exterior do pneu, se as telas se encontrarem danificadas o pneu não pode ser aproveitado, seja qual for o seu nível de desgaste, por deixar de garantir as condições necessárias à segurança (Campos, 2006).

A recauchutagem permite o prolongamento da vida útil de um pneu, contribuindo deste modo para a redução do consumo de recursos naturais, como o petróleo e seus derivados, borracha natural, entre outros, e a redução da produção de resíduos.

Na Figura 2.26, efectua-se a caracterização genérica da logística de funcionamento das empresas de recauchutagem.



Figura 2.26. Caracterização genérica da logística de funcionamento das empresas de recauchutagem (adaptado de Valorpneu, 2009d).

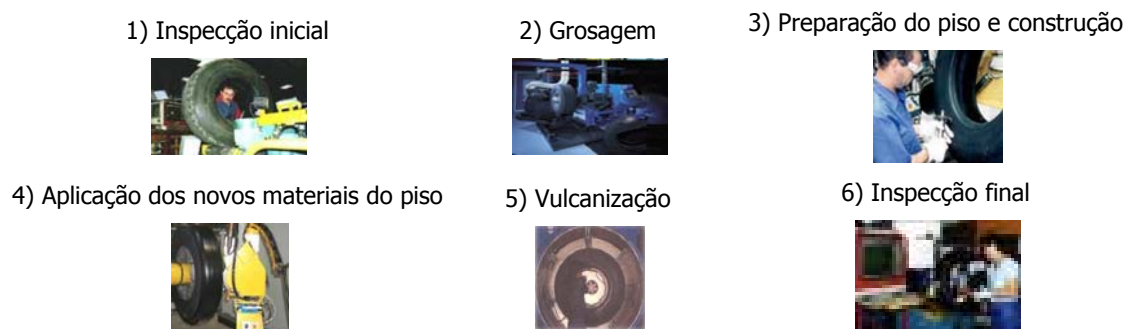
Para a ERTMA (2009a) existem duas tecnologias para produzir pneus recauchutados:

1. "Pré-moldados" ou "cura a frio":

Este processo aplica-se a pneus de camiões e veículos ligeiros de passageiros. O novo piso que será aplicado é pré-vulcanizado à sua forma final. A vantagem deste processo é a sua flexibilidade para produzir pequenas séries de vários tamanhos e modelos.

2. "Cura moldável" ou "cura a quente"

A vulcanização ocorre num molde do pneu. Este método aplica-se à produção de grandes volumes, devido ao alto investimento e custos de manutenção. Este processo envolve seis etapas:



2.7.3 RECICLAGEM

Para a Valorpneu (2009d) a reciclagem é o

“processamento de pneus usados para qualquer fim, que não o inicial, nomeadamente como matéria-prima a incorporar noutros produtos (...)”

De acordo com a OECD (2006) e Valorpneu (2009d) os processos de reciclagem de pneus usados podem ocorrer por:

1. Processo mecânico

Este processo consiste na trituração mecânica dos pneus, por meio de trituradores e moinhos, a borracha é fragmentada, o aço é retirado por separação magnética e o têxtil separado por diferença de densidade. “No final do processo, o granulado de borracha é dividido em várias gamas, consoante a sua granulometria, através de crivos com diferentes dimensões de malha”.

2. Processo criogénico

Neste processo “(...) é utilizado azoto líquido para congelar a borracha à temperatura aproximada de -160 °C, num túnel criogénico, o que permite a fragmentação da borracha e a produção de granulado de borracha fino. O pneu sofre uma primeira trituração mecânica sendo em seguida os seus fragmentos transportados para o túnel criogénico, onde a temperatura de entrada do azoto é de aproximadamente -192 °C e a temperatura de saída da borracha é cerca de -80 °C. Após a passagem pelo túnel criogénico e pelos martelos pneumáticos, o aço e o têxtil do pneu são separados da borracha através de separação magnética e por aspiração, respectivamente”.

Hau *et al.* (2008), acrescentam ainda que, para além dos processos mencionados anteriormente, os pneus de veículos pesados podem ser reciclados pelo seguinte processo:

3. Jactos de água

Este processo utiliza um ultra-jacto de água em alta pressão para retirar a borracha dos pneus. O jacto reduz uma fracção significativa da borracha em pó (partículas com menos de 1 mm de diâmetro). As esferas de aço de reforço no pneu são tirados da borracha, mas não são cortadas, assim, podem ser recuperadas. Após o pneu estar exposto ao jacto de água, os “granulados” de borracha resultantes, são secos e separados em intervalos de tamanho específico. Aço e fibras são também recuperados.

Os materiais reciclados de PU podem ter a seguinte aplicação:

- Engenharia de aterro sanitário, cortados em pedaços, tiras, triturados ou até mesmo inteiros, os pneus têm sido utilizados como material de enchimento (Kamimura, 2002);
- Sistema de drenagem (Figura 2.27);



Figura 2.27. Sistema séptico de drenagem (Kamimura, 2002).

- Pavimentos de parques infantis (Figura 2.28);
- Pisos para campos desportivos;
- Pisos para desportos hípicas;
- Relva sintética;



Figura 2.28. Superfícies de parques infantis utilizando granulados de PU (Kamimura, 2002).

- Betume modificado com borracha para pavimentação de vias rodoviárias, de acordo com a OCDE (2006), isto aumenta a vida útil do pavimento de quatro a cinco vezes;
- Granulado de borracha também pode ser usado para produzir PN (OCDE, 2006);
- Matéria-prima – indústria dos artefactos de borracha;
- Camadas de absorção de hidrocarbonetos no solo de remediação, “utilizado em caso de derrame de óleo ou produtos químicos semelhantes ou para filtragem e absorção de resíduos líquidos” (Specht, 2004);

- Mobiliário urbano e sinalética;
- Blocos e materiais de telhados;
- Uso em forno de arco eléctrico, pedaços de PU podem ser usados em fornos de arco eléctrico, funcionando como um substituto da antracite (ETRMA, 2009a).

Segundo a ETRMA (2009a), as qualidades particulares de flexibilidade, força e combustibilidade que caracterizam o PU têm contribuído significativamente para o desenvolvimento de uma vasta gama de novos produtos para diversas aplicações industriais e domésticas.

2.7.4 VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA

A valorização energética segundo a Valorpneu (2009d) é o

“processamento de pneus usados por combustão, para recuperação energética”.

Devido ao seu elevado poder calorífico, cerca de 5 700 kcal/kg, (o do carvão é de 6 800 kcal/kg), podem ser usados como combustível de substituição ou alternativa, para o fabrico de cimento ou para a produção de electricidade e vapor em unidades de co-geração.

De acordo com a OCDE (2006), uma tonelada de pneu equivale a uma tonelada de carvão de boa qualidade ou de 0,7 toneladas de petróleo.

Como valorização energética os PU podem ser utilizados, segundo o ERTMA (2009a) em:

- Estações de energia eléctrica como um combustível específico;
- Forno de cimenteiras, dado que os pneus inteiros ou triturados são usados como combustível suplementar. Esta aplicação utiliza todos os componentes do pneu. Os componentes combustíveis dos pneus são incinerados para geração de calor, enquanto que outras substâncias do pneu (sílica e cabo de aço) são utilizados como matéria-prima na produção de cimento que substitui a areia de vidro de recursos naturais e óxido de ferro. Assim a utilização de pneus na indústria do cimento é caracterizada por uma taxa de reciclagem de materiais de cerca de 25 %.

CAPÍTULO 3 - DESCRIÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO

3.1 NOTA PRÉVIA

Como se referiu no capítulo introdutório, um dos objectivos da presente dissertação consiste na elaboração de ensaios experimentais de lixiviação e degradação por fotoradiação com diferentes tipos de granulados de pneu e pavimentos de parques infantis, com o fim de avaliar se estes produtos libertam elementos que poderão ou não constituir um risco para o ambiente ou para a saúde pública.

Neste sentido, contactaram-se as duas principais empresas portuguesas de reciclagem de pneus usados (PU), a Recipneu e a Biosafe, no sentido de perceber o modo de funcionamento da reciclagem dos PU e recolher amostras para os ensaios e análises laboratoriais.

Optou-se por seleccionar estas duas empresas porque apresentam processos de reciclagem distintos. O processo da Recipneu consiste numa reciclagem pelo método criogénico, e o da Biosafe é um processo mecânico. Deste modo, pretendeu-se avaliar a influência de diferentes métodos de reciclagem na qualidade dos granulados de borracha.

Apenas foi possível visitar as instalações da Recipneu. Por motivos de segurança laboral não foi permitida a visita à Biosafe.

Relativamente aos fabricantes de pavimentos para parques infantis - tipo placas, das várias empresas existentes em Portugal foram contactadas por e-mail duas empresas, tendo-se obtido apenas resposta da empresa Fernando L. Gaspar.

Deste modo, nos pontos que se seguem descrevem-se estas três unidades industriais: Recipneu, Biosafe e Fernando L. Gaspar.

3.2 RECIPNEU

A Recipneu - Empresa Nacional de Reciclagem de Pneus, Lda. localizada no parque industrial de Sines, é uma das três recicladoras nacionais de pneus usados (PU), produtora de polímeros reciclados – granulados de borracha, desde 2000. De acordo com a Recipneu (2009a), a “empresa é responsável pela valorização de cerca de 40 % dos pneus usados gerados em Portugal”.

A tecnologia instalada utiliza o processo criogénico, fabricando, a temperaturas negativas, pós e granulados de borracha de superior qualidade, para aplicações como matéria-prima e como produto final (Recipneu, 2009b).

A matéria-prima utilizada neste processo, PU, é armazenada na área envolvente da fábrica não sendo necessária área coberta, Figura 3.1. Após a recepção dos PU, estes são separados por lotes.



Figura 3.1. Vista aérea das instalações da Recipneu e sua localização no mapa (Netresíduos, 2008).

De acordo com a Recipneu (2009b), o processo industrial desenvolve-se em três fases:

1. Fragmentação da matéria-prima;
2. Processamento criogénico;
3. Ensacamento e armazenamento.

A fase da **fragmentação** inicia-se com o encaminhamento dos pneus para uma fragmentadora (Figura 3.2). No caso dos pneus que ainda têm os aros metálicos, antes de serem encaminhados para a fragmentadora, são colocados num equipamento para extracção do aro metálico (Figura 3.3).



Figura 3.2. Encaminhamento dos pneus usados para a fragmentadora (Netresíduos, 2008).



Figura 3.3. Equipamento para remoção dos aros metálicos dos pneus usados.

Esta fase consiste na fragmentação de pneus ligeiros e pesados em pequenos troços, de secção homogénea, através de um processo de corte por lâminas, obtendo-se assim o produto designado como chip (Figura 3.4).



Figura 3.4. Chips de pneus usados.

Após o corte dos pneus, estes entram no **sistema criogénico primário**, sendo a partir daqui um processo contínuo. O processo criogénico, segundo a Recipneu (2009b), realiza a separação completa e individualizada da borracha, aço e têxteis sem desperdício ou perdas

apreciáveis de material. É um processo controlado automaticamente, e desenrolado sob atmosfera inerte, constituídas por duas fases:

1. Arrefecimento criogénico. Os chips são lançados num túnel, Figura 3.5, imergindo em azoto líquido, a cerca de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, dando-se uma permuta de frio entre os chips à temperatura ambiente e o azoto líquido. Arrefecendo-se os chips até uma temperatura de $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, atinge-se o ponto de transição vítreo de todos os polímeros constituintes da borracha, ou seja, a “borracha” comporta-se como vidro.
2. A moagem criogénica. Sob uma atmosfera inerte e muito fria, os chips “congelados” a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ são sujeitos a um fortíssimo impacte, em moinhos de martelos especiais, estilhaçando-se instantaneamente em pequenos grânulos de diferentes dimensões (Figura 3.6).



Figura 3.5. Túnel criogénico (Netresíduos, 2008). Figura 3.6. Moinhos de martelos (Netresíduos, 2008).

Após esta fase o processo completa-se com as seguintes operações:

- Separação densimétrica dos têxteis;
- Separação magnética do aço;
- Secagem da borracha granulada;
- Classificação granulométrica da borracha em dimensões normalizadas;
- Eliminação de poeiras e outros resíduos contaminantes.

Este processo realiza a separação completa e individualizada da borracha, aço e têxteis, sem praticamente qualquer desperdício ou perdas de material, e é automaticamente controlado. Na Recipneu também existe um sistema secundário de moagem ambiental (moinho vertical), onde se processa diferentes e complementares reduções de dimensão de borracha (Netresíduos, 2008).

O granulado obtido transita para diversos silos, de onde é **ensacado**, sobre paletes, em big-bags de ráfia sintética, com capacidade para cerca de 1,2 toneladas. O produto embalado é depois armazenado até à expedição (Recipneu, 2009b).

Estes granulados têm diferentes granulometrias, como se pode verificar no Quadro 3.1.

Quadro 3.1. Gama de granulados produzidos pela Recipneu. (Recipneu, 2009c)

Referência	Dimensão nominal
DC-8000	< 0,18 mm
DC-3080	0,18 – 0,60 mm
DC-1430	0,60 – 1,40 mm
DC-1014	1,00 – 2,00 mm
DC-0814	1,00 – 2,40 mm
DC-0410	2,00 – 4,75 mm
DC-0308	2,40 – 6,30 mm
DC-OV	6,30 mm
Outras dimensões poderão ser produzidas por encomenda.	

As aplicações dos granulados criogénicos são indicadas na Figura 3.7.

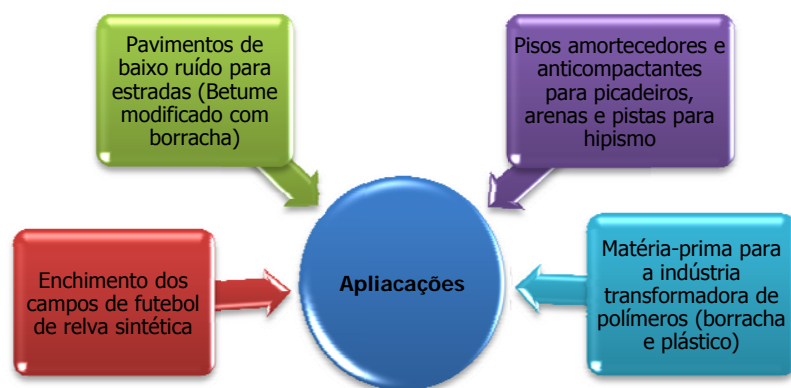


Figura 3.7. Aplicações dos granulados criogénicos produzidos pela Recipneu (adaptado de Recipneu, 2009c).

3.3 BIOSAFE

A Biosafe, uma empresa do Grupo Auto Sueco, dedica-se à produção e comercialização de granulado de borracha reciclada. Os pneus usados (PU) são transformados numa nova matéria-prima, o granulado de borracha (Biosafe, 2009a).

É através da tecnologia de trituração mecânica à temperatura ambiente que se consegue obter o granulado de borracha reciclada de excelente qualidade, limpo e de configuração adequada a uma infinidade de aplicações (Biosafe, 2009a).

De acordo com a Biosafe (2009a), a descarga e transporte é da responsabilidade do detentor dos PU. Os pneus recepcionados podem ser de veículos pesados, ligeiros e comerciais.

Esta empresa só aceita pneus livres de contaminações.

Após a recepção do PU, este é encaminhado para um processo sucessivo de trituração, onde se obtém pedaços de pneus com várias granulometrias e algumas impurezas, estas passam por uma mesa densimétrica e são posteriormente embaladas (Biosafe, 2009a).

Estes granulados têm diferentes granulometrias, como se pode verificar no Quadro 3.2.

Quadro 3.2. Gama de granulados produzidos pela Biosafe (Biosafe, 2009b).

Referência	Granulometria (mm)
FB 00 – 08	0,0 – 0,8
GB 08 – 25	0,8 – 2,5
GB 25 – 40	2,5 – 4,0
GB 40 – 70	4,0 – 7,0
GB 70 – 95	7,0 – 9,5

Os granulados identificados no Quadro 3.2 apresentam aplicações muito diversificadas, indicadas na Figura 3.8.

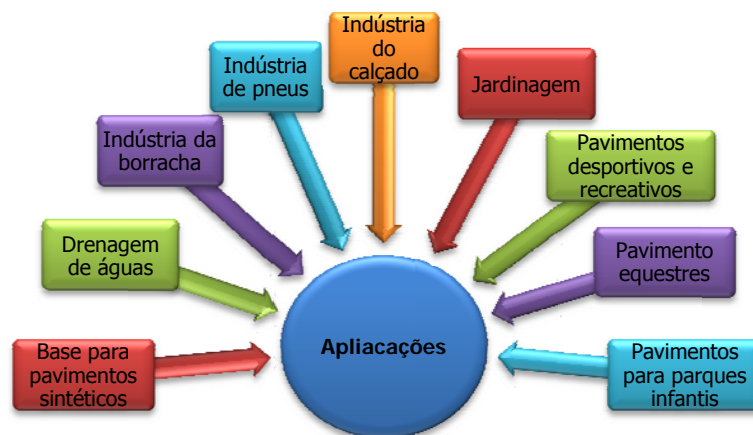


Figura 3.8. Aplicações dos granulados produzidos pela empresa Biosafe (adaptado de Biosafe, 2009a).

3.4 FERNANDO L. GASPAR

De acordo com a FLGaspar (2007a), a Fernando L. Gaspar, S.A., empresa localizada em São Domingos de Rana (Cascais), comercializa os pavimentos amortecedores da marca Kraiburg desde 1992. A Kraiburg Relastec GMBH, empresa alemã, é reconhecida internacionalmente como uma das empresas de maior sucesso no ramo de pavimentos sintéticos de segurança. A Kraiburg utiliza 90 % de materiais recicláveis na produção dos seus pavimentos. Estes produtos podem, por sua vez, ser reciclados e reutilizados na produção de novos pavimentos. Desde Março de 1994 que a Kraiburg Relastec GMBH desenvolve, fabrica e

fornece produtos com um sistema de qualidade que corresponde ao estabelecido nas normas de qualidade ISO 9001.

Além de outros produtos a Fernando L. Gaspar, comercializa placas que têm as seguintes possibilidades de aplicação (Figura 3.9):

- Todos os locais de recreio e desporto;
- Todos os locais onde seja necessário reduzir o risco de acidentes assegurando uma maior e melhor segurança em alternativa aos pavimentos tradicionais.



Figura 3.9. Possíveis aplicações dos pavimentos tipo placas comercializadas pela Fernando L. Gaspar (adaptado de FLGaspar, 2007b).

As placas podem ser de diferentes matérias, ter diferentes formas e dimensões, como se verifica na Figura 3.10.

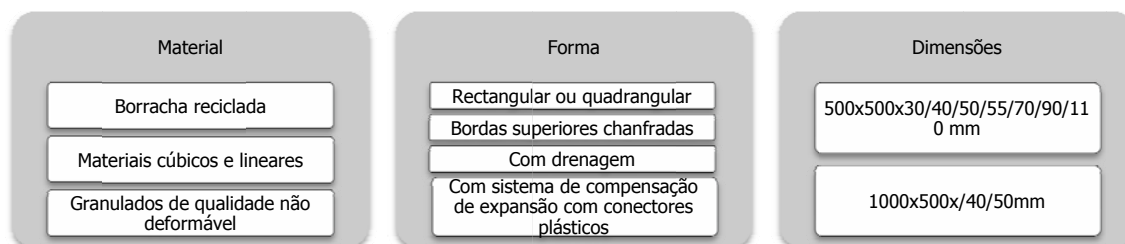


Figura 3.10. Características físicas dos pavimentos tipo placa, comercializadas pela Fernando L. Gaspar (adaptado de: FLGaspar, 2007b).

Ainda de acordo com a FLGaspar (2007b), a espessura deve ser escolhida de acordo com a altura máxima de queda do equipamento infantil instalado ou a instalar na área de projecto,

de forma a corresponder à necessidade de absorção de queda respectiva, de acordo com o gráfico apresentado na Figura 3.11.

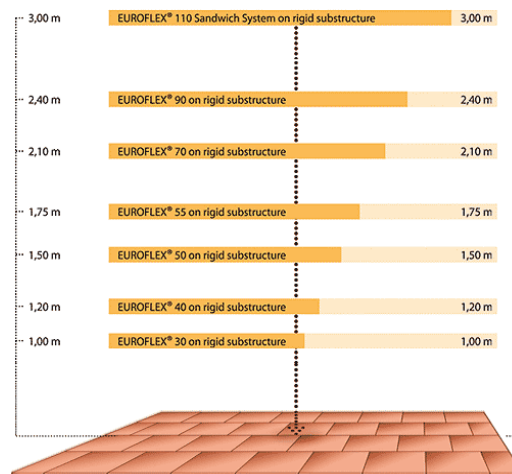


Figura 3.11. Espessuras adoptadas para os pavimentos amortecedores Kraiburg Relastec GMBH / Euroflex - Placas de acordo com as alturas de queda (FLGaspar, 2007b).

As placas podem ter inúmeras cores dependendo do pedido. Mas as cores mais utilizadas são o vermelho, verde e preto, que não têm resistência aos raios UV. As cores resistentes aos raios UV necessitam de um tratamento específico.

Estes pavimentos, tipo placas, apresentam um inovador sistema de drenagem interna, que oferece uma excelente drenagem e particularmente uma boa ventilação durante os períodos chuvosos ou húmidos de modo a que a drenagem seja rápida e eficaz, isolante térmico, resistente ao tempo, ao gelo e degelo e a situações de salinidade. De acordo com FLGaspar, (2007b), testes levados a cabo pelo "Chemical Examination Institute" da cidade de Hagen, comprovam que o produto é seguro no contacto com a pele e o corpo.

As vantagens e desvantagens dos pavimentos sintéticos Euroflex, dadas pelo FLGaspar, (2007b) são as seguintes:

- **Pavimento sintético com conectores plásticos – não necessita de cola.**
 - "O sistema de encaixe com conectores plásticos evita a necessidade de usar cola, pois tem um sistema de encaixe com conectores plásticos (Figura 3.12). Em placas de pavimento sem encaixes de plástico, as placas contraem mais do que a cola, dando origem à deformação do pavimento com a criação de barrigas, e deslocamento e levantamento do pavimento" (Figura 3.13);



Figura 3.12. Pavimento com conectores (FLG, 2007)

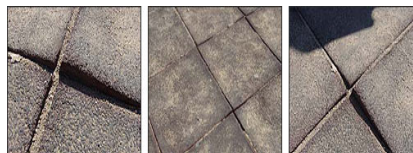


Figura 3.13. Pavimento sem conectores (FLG, 2007)

- **Pavimento sintético de alta compressão em toda a sua extensão.**
 - “Confere uma resistência à abrasão e pisoteio, os quais possuem uma superfície superior apenas parcialmente de alta compressão (geralmente de um cm) e uma superfície de base de baixa compressão de espessura variável”;
 - “Os pavimentos com dois níveis de compressão usam menos matéria-prima, pelo que, poderão, numa primeira abordagem, parecer mais económicos relativamente aos pavimentos totalmente de alta compressão Euroflex”;
 - “Os pavimentos com níveis distintos de compressão dão facilmente origem a pavimentos deformados, com perdas de borracha e de fraca capacidade à abrasão, com elevados custos ao nível de manutenção e reposição (Figura 3.14)”

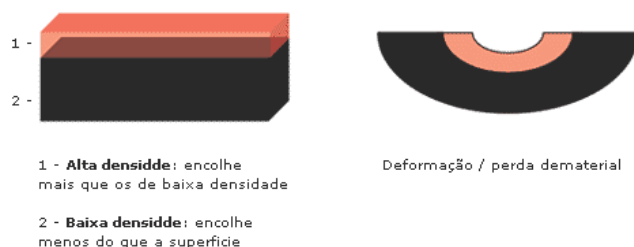


Figura 3.14. Pavimentos com níveis distintos de compressão (FLGaspar, 2007b).

CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA, MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 OBJECTIVOS E HIPÓTESES

O principal objectivo do presente trabalho de investigação consiste em avaliar se os granulados de pneus reciclados utilizados no fabrico de pavimentos amortecedores de parques infantis e os próprios pavimentos, contêm ou não alguns metais pesados que possam representar um potencial risco para o ambiente e para a saúde das crianças e jovens que brincam nos parques infantis que têm este tipo de pavimentos.

Partiu-se da hipótese de que o risco de libertação de alguns metais é superior quando o material se encontra sujeito aos factores climáticos que originam a sua degradação, nomeadamente a chuva e a radiação solar, devendo este risco ser crescente ao longo do tempo de vida útil dos granulados e pavimentos em análise.

Considerou-se ainda a hipótese do risco de libertação de metais ser superior nos granulados de pneus usados (PU) produzidos por processos mecânicos comparativamente aos produzidos por processos criogénicos, uma vez que os primeiros sofrem já um desgaste mecânico durante a sua produção e têm uma maior superfície específica (superfície mais irregular) o que aumentará a superfície de ataque aos agentes climáticos.

E por último o risco de ingestão de água contaminada das escorrências dos pavimentos infantis por crianças que brincam nos parques infantis que possuem este tipo de pavimentos.

Para atingir o objectivo proposto e as hipóteses formuladas, desenvolveu-se um trabalho experimental que consistiu na pesquisa de metais nos eluatos obtidos a partir de ensaios de lixiviação realizados em laboratório a amostras de granulados de PU e de pavimentos de parques infantis fabricados com esses granulados.

No caso das amostras de pavimentos, após a realização de um ensaio de lixiviação, as amostras foram ainda submetidas a um ensaio de fotoradiação ao qual se seguiu novo ensaio de lixiviação.

Com estes ensaios laboratoriais pretendeu-se reproduzir em laboratório as condições de degradação dos materiais pela acção da chuva e da radiação solar.

Neste capítulo descrevem-se a selecção e características das amostras, o planeamento experimental e os métodos, materiais e procedimentos utilizados nos ensaios de lixiviação e fotoradiação.

4.2 SELECÇÃO E CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS

Para a selecção das amostras, e como anteriormente referido, entrou-se em contacto com várias empresas, mas apenas três manifestaram interesse em disponibilizar amostras para os ensaios laboratoriais: a Recipneu, que processa os granulados pelo processo criogénico, a Biosafe, que processa os granulados pelo processo mecânico e Fernando L. Gaspar, que comercializam diversos tipos de pavimentos amortecedores, nomeadamente para parques infantis.

A empresa Fernando L. Gaspar, utiliza os granulados produzidos na Recipneu apenas para a elaboração do SBR e não para os pavimentos infantis, pois na opinião dos seus responsáveis este granulado apresenta muita fibra/lixo. Para os pavimentos dos parques infantis a Fernando L. Gaspar compra os granulados da marca Kräiburg à empresa alemã Kräiburg Relastec GMBH.

A empresa Fernando L. Gaspar comercializa uma grande variedade de pavimentos com diferentes características que dependem muito da aplicação a que se destinam. No caso dos pavimentos para parques infantis, a camada superior normalmente utiliza granulados coloridos com a granulometria de 1 mm a 4 mm, sendo os mais comercializados os de cores vermelho tijolo e cinzento, Figura 4.1. Na parte inferior aplica-se o preto, por ser mais económico. Dependendo da altura de segurança desejada, várias camadas de granulados são prensadas, dando origem às placas.

Deste modo, os granulados de pneus produzidos na Recipneu e na Biosafe e seleccionados para os ensaios laboratoriais, correspondem aos utilizados no fabrico dos pavimentos de parques infantis, como representado na Figura 4.2.

As amostras de granulados de pneus tiveram como factor de selecção a sua aplicação em parques infantis independentemente da sua granulometria. As amostras da empresa Biosafe e Recipneu foram seleccionadas através da consulta bibliográfica no respectivo site.



Figura 4.1. Esquema de selecção das amostras da Fernando L. Gaspar.

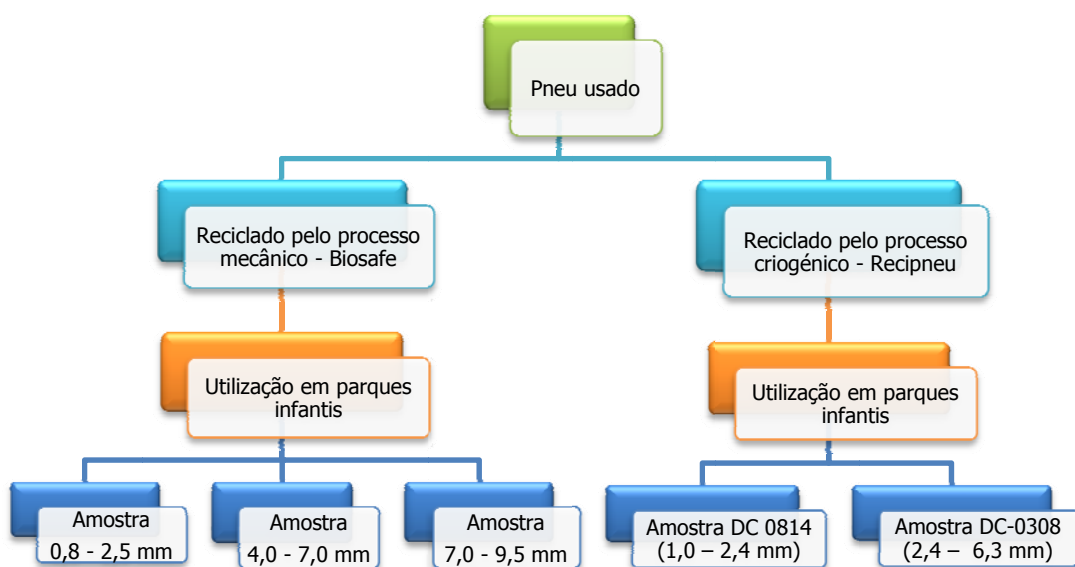


Figura 4.2. Esquema de selecção das amostras da Biosafe e da Recipneu.

No Quadro 4.1 apresentam-se as características das amostras utilizadas nos ensaios laboratoriais. Prepararam-se conjuntos de amostras de granulados de pneus e de pavimentos, ao todo sete, cada uma com 50 g de peso. No caso dos pavimentos teve que se proceder ao corte com a ajuda de uma pequena serra.

Quadro 4.1. Resumo das características das amostras analisadas.

Origem	Tipo e características das amostras			
Biosafe	0,8 - 2,5 mm		Granulados de pneu usado.	Pneu usado sujeito ao processo mecânico, com aspecto limpo, com poucas impurezas.
	4,0 - 7,0 mm		Granulados de pneu usado.	Pneu usado sujeito ao processo mecânico, com aspecto limpo, com poucas impurezas.
	7,0 - 9,5 mm		Granulados de pneu usado.	Pneu usado sujeito ao processo mecânico, com aspecto limpo, com poucas impurezas.
Recipneu	DC 0814 (1,00 – 2,40 mm)		Granulados de pneu usado.	Pneu usado sujeito ao processo criogénico, com muitas impurezas, tecido e "fluffy".
	DC-0308 (2,40 a 6,30mm)		Granulados de pneu usado.	Pneu usado sujeito ao processo criogénico, com muitas impurezas, tecido e "fluffy".
Fernando L. Gaspar	Pavimento Vermelho – Tijolo		Pavimento utilizado em parques infantis.	Granulados sujeitos à compressão.
	Pavimento Cinzento		Pavimento utilizado em parques infantis.	Granulados sujeitos à compressão, ao efectuar-se os cortes, encontrou-se metais de pequenas dimensões.

4.3 PLANEAMENTO EXPERIMENTAL

Na Figura 4.3 apresenta-se a sequência dos procedimentos experimentais realizados às amostras de granulados e às amostras de pavimentos.

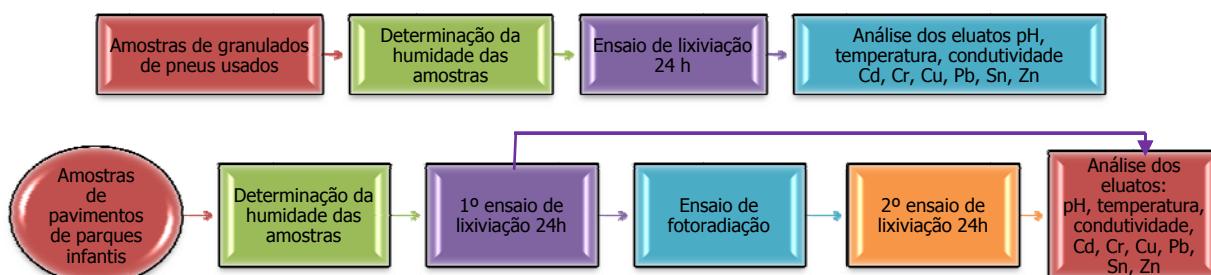


Figura 4.3. Esquema da sequência dos procedimentos experimentais.

O trabalho experimental decorreu durante os meses de Abril a Setembro de 2009, de acordo com o cronograma apresentado no Quadro 4.2.

O trabalho iniciou-se com uma visita e reunião às instalações da Recipneu, no dia 11 de Fevereiro de 2009, onde foi possível observar o processo de reciclagem dos PU e trocar impressões com os técnicos sobre o processo, as características dos produtos e as respectivas aplicações. Foi ainda nesta reunião que a Recipneu forneceu amostras de granulados de pneus de várias granulometrias.

Posteriormente, contactaram-se as outras duas empresas, a Biosafe e a Fernando L. Gaspar, solicitando-se amostras para os ensaios laboratoriais. As amostras da empresa Fernando L. Gaspar foram recepcionadas nos dias 15 de Maio e 5 de Junho de 2009, as amostras da Biosafe, foram recepcionadas no dia 18 de Maio de 2009.

O trabalho experimental iniciou-se com a determinação da humidade das amostras, ao qual se seguiram os primeiros ensaios de lixiviação que se realizaram entre os dias 18 de Maio a 9 de Junho. Após os ensaios de lixiviação, os eluatos foram enviados para o laboratório do Requite⁴, para determinação dos metais, e as amostras foram secas.

Para avaliar o efeito da radiação solar, as amostras de pavimentos foram colocadas no *SolarBox* durante 22 dias, após este período foram sujeitas a novo ensaio de lixiviação, seguindo-se a determinação dos metais nos eluatos das amostras.

Por último, os resultados obtidos foram tratados de acordo com o descrito nos pontos que se seguem.

Quadro 4.2. Cronograma do trabalho prático

Tarefas	Fev.				Mar.				Abril				Maio				Junho				Julho				Agosto				Set.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Visita à Recipneu																																
Solicitação de amostras às empresas seleccionadas																																
Recepção de amostras																																
Seleccção das amostras para os ensaios laboratoriais																																
Ensaio de lixiviação																																
Análises químicas aos eluatos dos ensaios de lixiviação																																
Ensaio de fotoradiação																																
Tratamento dos resultados																																

⁴ Laboratório onde se realiza a determinação dos metais pesados, presentes nos eluatos das amostras dos ensaios de lixiviação, através da espectrometria de emissão atómica por plasma acoplado induzido.

4.4 MÉTODOS, MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

4.4.1 DETERMINAÇÃO DA HUMIDADE

Antes de se colocarem as amostras nos frascos de plástico destinados aos ensaios de lixiviação, procedeu-se à secagem das amostras com o objectivo de determinar a sua humidade e, consequentemente, o peso seco das mesmas.

Os materiais utilizados para a determinação da humidade, são:

- Serra metálica utilizada para cortar pequenas porções de 50g de pavimentos;
- Cadinho;
- Balança analítica - Scout Pro OHAUS 400g;
- Excicador e
- Estufa "Mettler".

De acordo com indicações técnicas, prepararam-se três réplicas de cada amostra, ou seja, no total 21 amostras foram pesadas e colocadas em cadinhos previamente tarados, e colocadas na estufa a 110 °C, durante três horas. Decorrido este tempo e após um pequeno período de arrefecimento no excicador, pesaram-se novamente todos os cadinhos com as amostras numa balança analítica, voltando-se a colocar novamente as amostras na estufa durante mais uma hora. Findo este tempo, e após o arrefecimento dos cadinhos no excicador, procedeu-se a uma segunda pesagem.

Este procedimento, de colocação sequencial das amostras na estufa por períodos de uma hora, teve por objectivo verificar a estabilização do peso. Como o peso estabilizou na segunda pesagem não foi necessário colocar novamente as amostras na estufa.

Confirmada a estabilização do peso, utilizou-se a seguinte equação para o cálculo da humidade das amostras:

$$\text{Humidade (\%)} = \frac{(\text{Peso do recipiente} + \text{Peso da amostra húmida}) - (\text{Peso do recipiente} + \text{Peso da amostra seca})}{(\text{Peso do recipiente} + \text{Peso da amostra seca}) - \text{Peso do recipiente}}$$

Equação 4.1.

Através da Equação 4.1, determina-se a humidade das amostras. Com o valor da humidade de cada amostra em estudo, irá ser descontada esse valor da humidade nas amostras

húmidas, para que nos ensaios de lixiviação, se pese os 50 g de cada amostra em estudo, sem ter um erro da humidade associada.

4.4.2 ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO

A finalidade de um ensaio de lixiviação consiste em simular os efeitos da chuva nos materiais, granulados e pavimentos em estudo.

Este ensaio, realizado de acordo com a Norma Europeia EN 1245/7, tem como objectivo a produção de um eluato e a análise sobre o eluato dos parâmetros objecto de pesquisa.

Os aparelhos, material de laboratório e reagentes usados nos ensaios de lixiviação, são indicados seguidamente:

- Agitador mecânico com capacidade para 8 frascos de plástico de 1 L (8 amostras)
- Balança analítica - Scout Pro OHAUS 400g
- Aparelho para medir o pH
- Condutivímetro
- Aparelho de medição dos metais - Espectrometria de emissão atómica de plasma
- Copos de vidro
- Balão volumétrico 500 mL
- Filtros 0,47 mm
- Sistema de filtração
- Pipeta graduada de 50 mL
- Pompete
- Frasco de plástico 100 mL
- Pipeta graduada 1 mL
- Água destilada
- Ácido nítrico 65 %

Os procedimentos seguidos para a montagem e realização dos ensaios de lixiviação foram os seguintes:

- Pesaram-se os frascos de plástico de 1 L e colocou-se dentro de cada um 50 g de amostra granulados e de pavimentos;
- Adicionou-se a cada frasco 500 mL de água destilada;
- Como o agitador mecânico tem capacidade para oito frascos, por cada ensaio foram preparados seis frascos com amostras e dois brancos (frasco de plástico só com água destilada);
- Os frascos foram bem fechados e colocados de forma segura no agitador mecânico (Figura 4.4), colocado numa sala climatizada a 16 °C, mantendo constante o factor temperatura, e programado para fazer a agitação das amostras a uma velocidade de 10 rpm, durante 24 h;



Figura 4.4. Agitador mecânico em funcionamento.

- Após o período de 24 h retiraram-se os frascos e deixaram-se em repouso cerca de 15 minutos;
- Preparou-se o sistema de filtração, que inclui bomba de vácuo, kitasato, copo, membrana de filtração e filtros 0,47 µm de porosidade;
- Pipetou-se dos frascos de plásticos de 1 L, que estiveram em agitação, 100 mL do eluato, transferindo-os de seguida para os filtros colocados no sistema de filtração;
- Após a filtração, retirou-se o eluato (*i.e.* filtrado do kitasato) para um copo de vidro, para medição do pH, condutividade e temperatura;
- Após a medição destes parâmetros colocou-se o eluato num frasco de plástico de 100 mL devidamente identificado, ao qual se adicionou 0,5 mL de ácido nítrico a 65 %, para preservação das amostras, e colocaram-se estes frascos numa arca frigorífica, com temperatura entre 1 °C a 3 °C, até à realização das análises químicas aos metais pesados;

- O último procedimento foi repetido cinco vezes para cada um dos frascos de 1 L, ou seja, fizeram-se cinco tomas de cada um dos frascos.

Como o agitador mecânico apenas dá para oito frascos de plástico de 1 L, os ensaios de lixiviação não foram realizados todos ao mesmo tempo, mas sim de forma sequencial de acordo com o indicado no esquema da Figura 4.5.



Figura 4.5. Sequência do primeiro ensaio de lixiviação realizados às amostras⁵.

O método analítico utilizado para a determinação dos metais pesados, presentes nos eluatos das amostras dos ensaios de lixiviação, foi a espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado induzido "Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES)". O equipamento de ICP-AES utilizado foi o existente no laboratório do Requite, da marca Horiba Jobin-Yvon modelo Ultima, de observação radial, equipado com um gerador RF de 40.68 MHz e um monocromador tipo Czerny-Turner de 1.00 m. As amostras foram analisadas pela técnica de laboratório responsável por este aparelho.

No Anexo I encontra-se uma descrição do método analítico utilizado e no Quadro 4.3 os parâmetros operacionais do ICP-AES.

Quadro 4.3. Condições de operação do ICP-AES.

Potência	1200 kW
Caudal Árgon Plasma	12.0 L/min
Caudal Árgon Revestimento	0.3 L/min
Diâmetro tubo injetor Nebulizador	3 mm Mira Mist
Câmara nebulização	Ciclónica
Pressão do nebulizador	3 bar
Velocidade da bomba	15 rpm
Caudal de débito da amostra	1.0 mL/min

⁵ Nota: algumas amostras foram contaminadas com ácido, e por isso não foram contabilizadas (uma réplica da amostra DC – 0308 e uma réplica do branco).

A aquisição de dados e o controlo do aparelho são feitos através de computador com *software* JY v5.4 instalado, Figura 4.6, o que permite uma visualização *on-line* de todos os parâmetros e dos dados obtidos. Os dados são exportados automaticamente para o Excel. No Anexo I apresentam-se mais detalhes sobre este *software*.

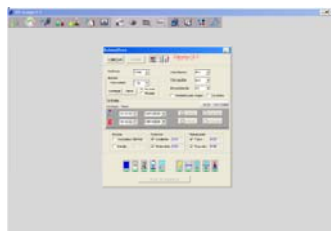


Figura 4.6. Software JY v5.4 - controlo automático de todos os parâmetros.

A equação utilizada para a determinação de metais pesados do eluato foi a seguinte:

$$\begin{aligned} \text{Concentração final do metal (mg/L)} \\ &= \text{Concentração do metal determinado na amostra (mg/L)} \\ &- \text{Concentração do metal no branco do referente ensaio (mg/L)} \end{aligned}$$

Equação 4.2.

Tendo por base a revisão bibliográfica, bem como as disponibilidades e capacidade do aparelho do laboratório do Requite, em cada uma das amostras dos eluatos resultantes dos ensaios de lixiviação, foram determinados os seguintes parâmetros: temperatura; condutividade; pH e metais pesados (Cd (mg/L); Cr (mg/L); Cu (mg/L); Pb (mg/L); Sn (mg/L) e Zn (mg/L)).

Após a determinação do valor médio obtido para os metais pesados de cada um dos eluatos, incluindo os brancos referentes a cada ensaio, determinou-se a concentração final do metal presente nas amostras pela Equação 4.3.

$$\begin{aligned} \text{Concentração do "metal pesado" (mg/kg peso seco)} \\ &= \text{Concentração do "metal pesado" no eluato (mg/L)} \times \frac{\text{Volume inicial de água destilada (L)}}{\text{Peso seco da amostra (kg)}} \end{aligned}$$

Equação 4.3.

Aplicando a Equação 4.3, determinou-se a concentração do metal expresso em mg/kg peso seco de cada amostra em estudo.

4.4.3 ENSAIOS DE FOTORADIAÇÃO E LIXIVIAÇÃO

O ensaio de fotoradiação apresenta como finalidade simular os efeitos da radiação solar nos pavimentos em estudo. Antes de se colocarem as amostras no *SolarBox*, deixou-se secar à temperatura ambiente.

Apenas se efectuou a fotoradiação aos pavimentos dos parques infantis, porque no *SolarBox*, devido aos “jactos” de ar que são projectados para o arrefecimento do sistema, os granulados dispersariam, podendo comprometer a segurança do aparelho.

Os materiais utilizados para a elaboração do ensaio no *SolarBox*, são:

- Álcool etílico;
- Papel absorvente;
- *SolarBox* 3000e e sistema de ventilação

Previamente o tabuleiro foi limpo com papel absorvente e álcool, posteriormente colocaram-se as amostras no tabuleiro e levadas ao *SolarBox*. Recorrendo ao painel de controlo, Figura 4.7, introduziu-se a hora de permanência do ensaio: 528 h, que corresponde a uma duração 22 dias e no fim deste tempo verificou-se o valor da radiação acumulada.



Figura 4.7. Painel de controlo do *SolarBox*.

Como a radiação solar varia de Norte a Sul de Portugal, e considerando algumas zonas em estudo, com os valores de radiação acumulada e da irradiação solar anual (MJ/m²) das zonas (Porto, Lisboa, Évora e Faro), aplicando-se a Equação 4.4, determinou-se o tempo real de exposição solar se os pavimentos estivessem nos parques infantis.

$$Horas \text{ reais} = \frac{Radiação \text{ acumulada } SolarBox \times 8760}{Irradiação \text{ solar da zona}}$$

Equação 4.4

Realçando que a garantia dada aos pavimentos é de 3 anos. E que em termos de vida útil dos pavimentos instalados em parques infantis, existem parques infantis nacionais, com mais de 12 anos e que ainda mantém o seu aspecto inicial (embora mais envelhecidos e com o desgaste natural).

Após a realização do ensaio de fotoradiação, as amostras de pavimentos foram sujeitas a novo ensaio de lixiviação e análise dos parâmetros analíticos (Figura 4.8), de acordo com os procedimentos já descritos para os primeiros ensaios de lixiviação. Este segundo ensaio de lixiviação teve por objectivo avaliar se após as acções conjuntas das radiações solares a acção das chuvas, simuladas sobre os pavimentos infantis, a concentração de metais pesados nos eluatos aumentaria ou não.

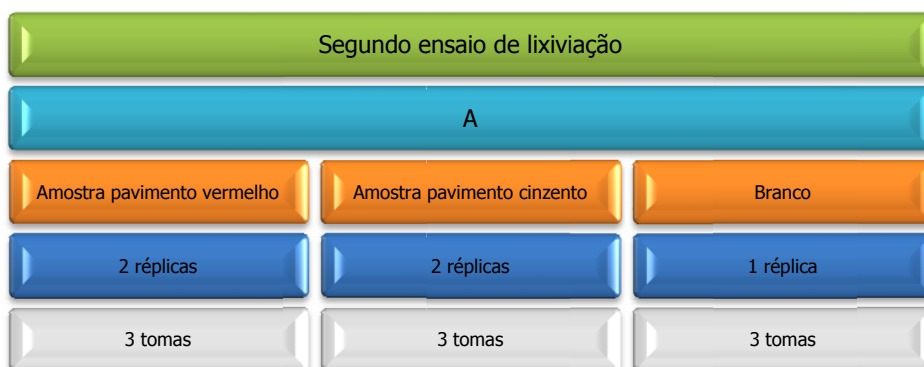


Figura 4.8. Sequência do segundo ensaio de lixiviação realizado aos pavimentos infantis.

CAPÍTULO 5 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 HUMIDADE DAS AMOSTRAS SUJEITAS AOS ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO

No Quadro 5.1 apresentam-se os dados obtidos para a determinação da humidade das amostras que foram sujeitas aos ensaios de lixiviação.

Quadro 5.1. Resultados obtidos e determinação da humidade (%).

Amostras		Peso (g)					Humidade (%)
Origem	Tipo	Cadinho vazio	Amostra húmida	Amostra seca	Cadinho + amostra húmida	Cadinho + amostra seca	
Biosafe	0,8 - 2,5 mm	84,38	19,72	19,58	104,10	103,96	0,74
		85,95	20,01	19,86	105,96	105,81	
		83,14	20,07	19,92	103,21	103,06	
	4,0 - 7,0 mm	82,61	18,10	18,01	100,71	100,62	0,86
		79,56	18,42	18,20	97,98	97,76	
		82,00	18,98	18,81	100,98	100,81	
	7,0 - 9,5 mm	79,54	27,75	27,49	107,29	107,03	0,94
		82,00	29,06	28,78	111,06	110,78	
		46,05	25,84	25,60	71,89	71,65	
Recipneu	DC-0814	79,91	26,18	25,96	106,09	105,87	0,86
		52,94	18,87	18,70	71,81	71,64	
		60,57	19,11	18,95	79,68	79,52	
	DC-0308	82,07	23,94	23,73	106,01	105,80	0,89
		83,20	28,70	28,44	111,90	111,64	
		80,86	22,88	22,68	103,74	103,54	
FLGaspar	Pavimento Vermelho - Tijolo	83,14	22,54	22,36	105,68	105,50	0,80
		81,11	27,63	27,40	108,74	108,51	
		74,69	27,52	27,31	102,21	102,00	
	Pavimento Cinzento	55,75	23,83	23,65	79,58	79,40	0,75
		56,12	22,64	22,46	78,76	78,58	
		58,90	35,65	35,40	94,55	94,30	

Como se pode observar a humidade das amostras é muito baixa, tendo os valores variado entre um mínimo de 0,74 %, correspondente à amostra de granulados de 0,8 – 2,5 mm, a um máximo de 0,94 %, da amostra de granulados com 7,0 – 9,5 mm.

De salientar que de acordo com Suau e Ayala (2006), a absorção máxima da humidade em pneus e pedaços de pneus é de 2-3 %. Os mesmos autores afirmam que a absorção de água depende dos contornos irregulares dos pedaços de pneus, concluindo-se então que quanto maior a granulometria e mais irregular for a superfície dos granulados de pneus, maior será a humidade dos mesmos, porque maior será a quantidade de água “retida”.

Como a humidade das amostras é muito baixa, não há necessidade de efectuar uma rectificação nos pesos das amostras em estudo, porque não terá um erro da humidade associada muito acentuada.

5.2 RESULTADOS DO PRIMEIRO ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO

Os resultados obtidos no primeiro conjunto de ensaios de lixiviação, para os parâmetros de controlo temperatura, pH e condutividade apresentam-se de forma detalhada no Anexo II. No Quadro 5.2, apresenta-se os parâmetros estatísticos obtidos para estas três variáveis, para cada um dos ensaios realizados às amostras e respectivos brancos (*i.e.* garrafas só com água destilada).

Quadro 5.2. Resumo do ensaio de lixiviação decorridos 24h.

Amostra	Peso da amostra (g)		pH		Temperatura no momento de medição do pH (°C)		Condutividade (µS/cm)		Temperatura no momento de medição da condutividade (°C)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
4,0 - 7,0 mm	50,00	0,00	7,43	0,13	19,76	0,30	20,51	0,80	19,81	0,19
0,8 - 2,5 mm	50,00	0,00	7,61	0,14	20,05	0,31	37,81	1,23	19,94	0,28
Branco			5,99	0,22	19,78	0,53	4,76	1,23	19,48	0,73
Pavimento vermelho - tijolo	50,44	0,32	9,21	0,13	20,69	0,26	51,21	2,43	20,34	0,22
7 - 9,5 mm	50,09	0,01	7,20	0,10	19,91	0,35	16,36	0,94	19,53	0,36
Branco			6,43	0,22	19,10	0,38	4,26	0,53	18,92	0,43
DC 0814	50,00	0,00	7,33	0,15	21,44	0,81	55,49	20,86	21,23	0,68
Pavimento cinzento	50,02	0,01	8,76	22,38	22,38	0,36	64,75	1,93	22,05	0,39
Branco			6,98	0,33	21,97	0,28	6,60	0,71	21,98	0,31
DC-0308	50,00	0,00	7,61	0,11	20,79	0,34	44,99	1,73	20,73	0,31
Branco			6,56	0,37	20,90	0,22	6,81	0,28	20,66	0,56

Como se pode verificar na Figura 5.1, os valores os valores de pH e de condutividade dos brancos foram sempre inferiores aos das amostras. Comparando os valores de pH das amostras, constata-se que os valores mais elevados foram obtidos nas duas amostras de pavimentos vermelho-tijolo e cinzento, 8,76 e 9,21 respectivamente, e as amostras de granulados apresentaram valores de pH entre os 7,20 (7,0 – 9,5 mm) e os 7,61 (0,8 - 2,5 mm).

Em relação à condutividade, os valores mais baixos correspondem aos brancos (valores entre 4,26 µS/cm e 6,81 µS/cm). Nas amostras, o valor mais baixo foi obtido para a amostra

de granulados de 7,0 – 9,5 mm (16,36 $\mu\text{S/cm}$) e o valor mais elevado para a amostra de pavimento cinzento (64,75 $\mu\text{S/cm}$).

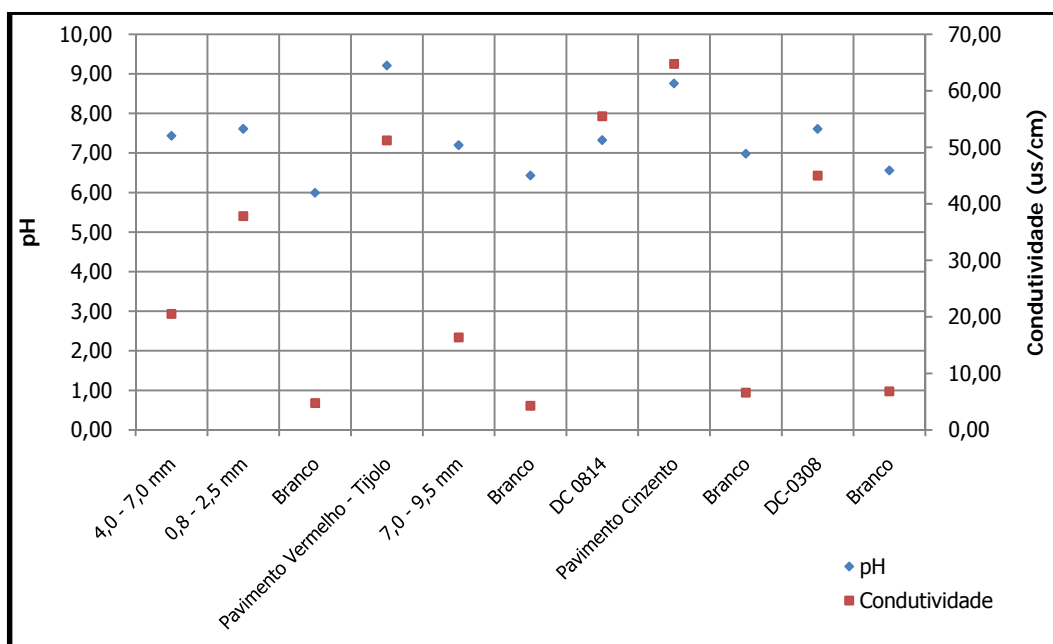


Figura 5.1. Média do pH e da condutividade das amostras em estudo para o primeiro ensaio de lixiviação.

Estes dois parâmetros, pH e condutividade, são importantes porque interferem com a solubilidade dos metais.

A condutividade aumenta com a disponibilidade de iões na solução, consequentemente as amostras de pavimentos cinzento, seguida do vermelho-tijolo, são as que apresentam maior quantidade de iões dissolvidos, logo maior condutividade. Isto poderá dever-se talvez à presença de cores nos granulados aplicados nos pavimentos.

Os granulados da Recipneu apresentam uma condutividade superior à dos da Biosafe, esses resultados poderão estar relacionados com a tecnologia envolvida no processo da reciclagem, criogénico e mecânico respectivamente.

Os resultados das análises por ICP-AES aos metais pesados encontram-se em detalhe no Anexo III.

Do conjunto das 135 amostras, Anexo III, submetidas a ensaio de lixiviação apenas em 4 o aparelho detectou a presença de Cd, mas os valores encontram-se muito próximos do valor limite de detecção que é de 0,5 $\mu\text{g/L}$ (entre 0,7 a 1,5 $\mu\text{g/L}$). Também para o caso do Cr, Pb

e Sn o número de amostra que apresentaram valores superiores aos limites de detecção do aparelho foram muito diminutas e próximas dos respectivos valores de detecção.

Por este motivo, pode-se considerar que os teores em Cd, Cr, Pb e Sn, são praticamente insignificantes ou nulos pelo que apenas foram tratados os valores de Zn e Cu.

Desta forma, as concentrações de Zn e Cu, expressas em mg/kg de peso seco de cada amostra em estudo, indicam-se no Quadro 5.3.

Quadro 5.3. Determinação das concentrações dos metais pesados nas amostras secas.

Amostras	Peso seco da amostra (kg)	Volume de água destilada (L)	Cu			Zn		
			(mg/L)	(mg/kg peso seco)	Desvio Padrão	(mg/L)	(mg/kg peso seco)	Desvio Padrão
0,8 - 2,5 mm	0,05	0,50	0,000	0,000	0,000	0,578	5,783	0,053
4,0 - 7,0 mm	0,05	0,50	0,000	0,000	0,000	0,420	4,205	0,107
7,0 - 9,5 mm	0,05	0,50	0,004	0,038	0,001	0,292	2,918	0,061
DC 0814	0,05	0,50	0,002	0,022	0,002	0,430	4,303	0,141
DC-0308	0,05	0,50	0,004	0,045	0,003	0,087	0,872	0,007
Pavimento Vermelho - Tijolo	0,05	0,50	0,003	0,025	0,000	0,026	0,257	0,010
Pavimento Cinzento	0,05	0,50	0,001	0,012	0,003	0,033	0,325	0,006

Nas figuras seguintes caracteriza-se melhor a variação da concentração final do Cu e do Zn.

Na análise da Figura 5.2, verifica-se que a amostra de 0,8 – 2,5 mm é a que apresenta a maior concentração (5,783 mg/kg peso seco), seguindo-se a amostra DC – 0814, sendo que a amostra de pavimento vermelho-tijolo é a que apresenta menor concentração (0,257 mg/kg peso seco).

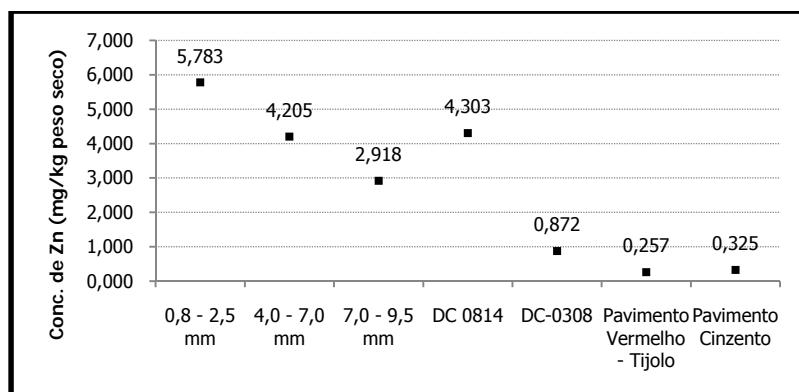


Figura 5.2. Concentração final de Zinco em mg/kg peso seco no primeiro ensaio de lixiviação.

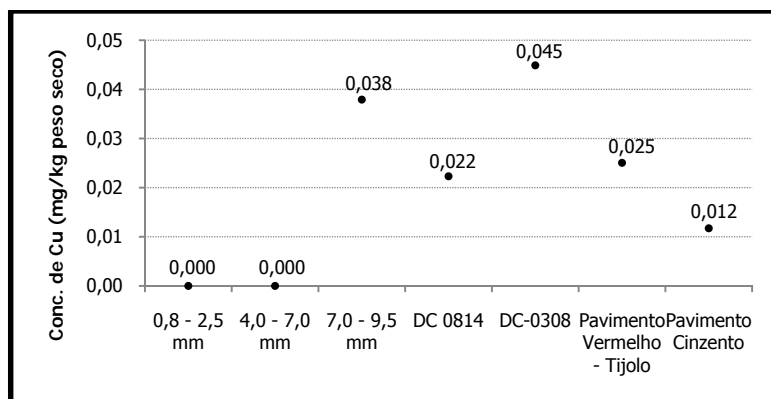


Figura 5.3. Concentração final de Cobre em mg/kg peso seco no primeiro ensaio de lixiviação.

Pela Figura 5.3, verifica-se que a amostra DC – 0308 é a que apresenta a maior concentração de cobre (0,045 mg/kg peso seco), seguida da amostra 7,0 – 9,5 mm (0,038 mg/kg peso seco), sendo que as amostras 4,0 – 7,0 e 0,8 – 2,5 mm não apresentam Cobre na sua constituição.

5.3 RESULTADOS DO SEGUNDO ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO APÓS FOTORADIAÇÃO

Com os valores de radiação acumulada e da irradiação solar anual (MJ/m^2) para algumas zonas em estudo (Porto, Lisboa, Évora e Faro), aplicando a Equação 4.4, determinou-se a número de horas reais que o ensaio representava e consequentemente a número de meses (Quadro 5.4).

Quadro 5.4. Determinação do tempo real de radiação após fotoradiação no *SolarBox*.

Zona de estudo	Irradiação Solar da zona (kWh/m^2) *	Irradiação Solar da zona (MJ/m^2)	Horas num ano (h)	Radiação acumulada no <i>Solarbox</i> (MJ/m^2)	Horas reais de radiação (h)	Tempo real de radiação
Porto	1850	6660,0	8 760	1 519	1 998,0	2 meses e 22 dias
Lisboa	1950	7020,0	8 760		1 895,5	2 meses e 18 dias
Évora	2100	7560,0	8 760		1 760,1	2 meses e 12 dias
Faro	2250	8100,0	8 760		1 642,8	2 meses e 8 dias

Nota: 1 kWh = 3,6 MJ

* Fonte: (Súri *et al.*, 2006)

O tempo real de radiação indicado no Quadro 5.4, indica o período de tempo em que os pavimentos em estudo teriam que permanecer se estivessem ao ar livre, ou seja, acima dos dois meses.

Após este ensaio, realizou-se um segundo conjunto de ensaios de lixiviação, para os parâmetros de controlo temperatura, pH e condutividade apresentam-se de forma detalhada

no Anexo V. No Quadro 5.5, apresenta-se os parâmetros estatísticos obtidos para estas três variáveis, para cada um dos ensaios realizados às amostras e respectivos brancos (*i.e.* garrafas só com água destilada).

Quadro 5.5. Resumo do segundo ensaio de lixiviação decorridos 24h.

Amostras	Peso da amostra (g)		pH		Temperatura no momento de medição do pH (°C)		Condutividade		Temperatura no momento de medição da condutividade (°C)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Pavimento Vermelho - Tijolo	50,02	0,03	7,68	0,07	22,67	0,69	99,75	5,11	23,48	1,70
Pavimento Cinzento	50,05	0,06	7,55	0,13	22,95	0,30	106,77	9,68	23,68	1,45
Branco			9,69	0,03	21,13	0,21	60,60	10,79	21,27	0,31

Pela Figura 5.4, verifica-se que o valor de pH e de condutividade do branco é inferior aos das amostras. Comparando os valores de pH das amostras, constata-se que o valor mais elevado foi obtido na amostra de pavimento vermelho-tijolo (9,21) sendo que o pavimento cinzento apresenta um pH de 8,76.

Em relação à condutividade, o valor mais baixo corresponde também ao branco (6,60 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Nas amostras, o valor mais elevado foi obtido para a amostra de pavimento vermelho-tijolo (51,21 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

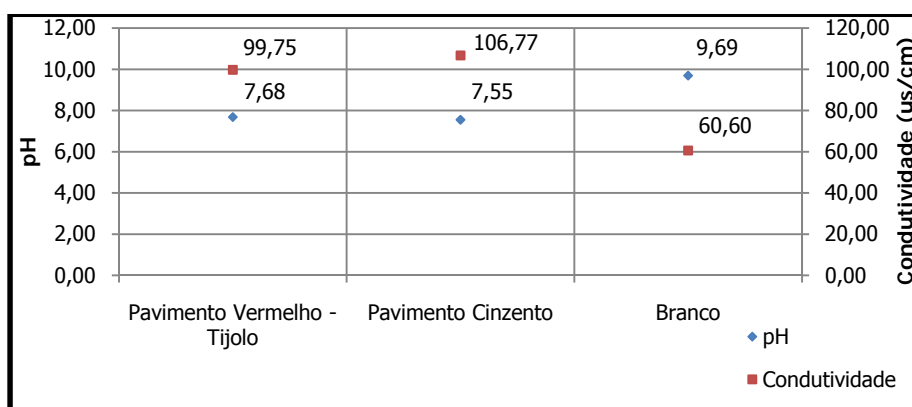


Figura 5.4. Média do pH e da condutividade das amostras em estudo para o segundo ensaio de lixiviação.

Estes dois parâmetros, pH e condutividade, são importantes porque interferem com a solubilidade dos metais.

Os resultados das análises por ICP-AES aos metais pesados encontram-se em detalhe no Anexo VI.

Do conjunto das 15 amostras (Anexo V), submetidas a ensaio de lixiviação em nenhuma se detectou a presença de Cd, Cr, Pb e Sn. Assim procedeu-se ao tratamento estatístico dos valores de Zn e Cu, apresentando-se no Quadro 5.6. os resultados obtidos para as concentrações de Zn e Cu, expressas em mg/kg de peso seco, de cada amostra em estudo.

Quadro 5.6. Determinação das concentrações dos metais pesados nas amostras secas para o segundo ensaio de lixiviação.

Amostras	Peso seco da amostra (kg)	Volume de água destilada (L)	Cu			Zn		
			(mg/L)	(mg/kg peso seco)	Desvio Padrão	(mg/L)	(mg/kg peso seco)	Desvio Padrão
Pavimento Vermelho - Tijolo	0,050	0,500	0,009	0,093	0,006	0,922	9,212	0,148
Pavimento Cinzento	0,050	0,500	0,003	0,033	0,005	1,868	18,658	0,221

Nas figuras seguintes caracteriza-se melhor a variação da concentração final do Cu e do Zn.

Na análise da Figura 5.5, verifica-se que a amostra de pavimento cinzento é a que apresenta a maior concentração de zinco (18,66 mg/kg *versus* 9,21 mg/kg, por peso seco). Pela Figura 5.6, verifica-se o inverso, sendo a amostra de pavimento vermelho-tijolo a apresentar a maior concentração de cobre (0,093 mg/kg *versus* 0,033 mg/kg, por peso seco).

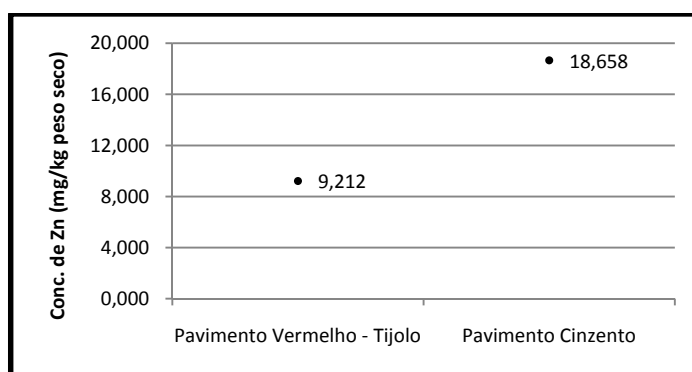


Figura 5.5. Concentração final de Zinco em mg/kg peso seco no segundo ensaio de lixiviação.

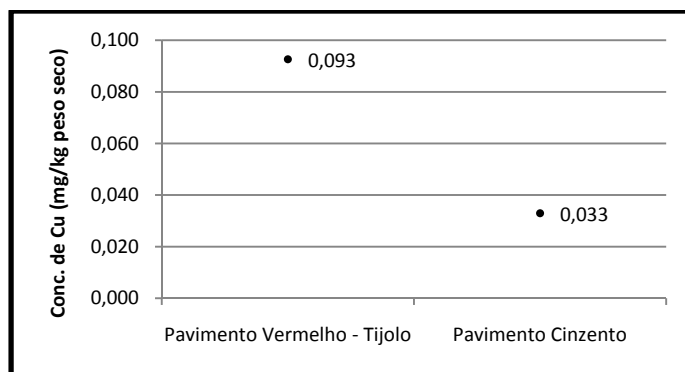


Figura 5.6. Concentração final de Cobre em mg/kg peso seco no segundo ensaio de lixiviação.

Pelo Quadro 5.7 constata-se que, quer no caso do Cu quer no caso do Zn, as concentrações aumentaram consideravelmente nos eluatos das amostras de pavimentos sujeitas a fotoradiação, em especial as do Zn, que aumentaram quase 3500% nas amostras de pavimentos vermelho-tijolo e cerca de 5600% nas amostras de pavimentos cinzentos.

Quadro 5.7. Acréscimo de metais nos eluatos.

Amostras	Metal	1º Ensaio Conc. (mg/kg p.s.)	2º Ensaio Conc. (mg/kg p.s.)	Acréscimo (%)
Pavimento Vermelho - Tijolo	Cu	0,025	0,093	269,53
	Zn	0,257	9,212	3486,95
Pavimento Cinzento	Cu	0,012	0,033	181,26
	Zn	0,325	18,658	5640,72

Comparando as concentrações de Cu e Zn obtidas nesta dissertação com as indicadas nos ensaios de lixiviação realizados por outros três autores, resumidamente apresentados no

Quadro 5. 8, constata-se que nestes últimos as concentrações são consideravelmente superiores, quer para o caso dos ensaios de lixiviação de 24h, quer para o caso dos ensaios de lixiviação após fotoradiação.

Chama contudo a atenção para o facto do ensaio de fotoradiação realizado por Verschoor (2007) corresponder a 3 anos de exposição solar enquanto que nesta dissertação este ensaio correspondeu a cerca de 2 meses. Para Portugal, uma fotorradiação para um período equivalente a 3 anos corresponde à realização de um ensaio com a duração de 396 dias, isto é 1 ano e 1 mês, ensaio impossível de realizar no âmbito desta dissertação, não só pelo tempo requerido como também pelos custos associados.

Quadro 5. 8. Concentrações de Cu e Zn obtidas em ensaios de lixiviação com granulados de pneus realizados por outros autores.

Autor	Tipo de ensaio	Valores reportados	
		Concentração de Cu	Concentração de Zn
Verschoor (2007)	Lixiviação desenvolvida, numa coluna vertical, com granulados de pneus usados (diâmetro inferior a 4 mm) e sujeita a um fluxo ascendente de água destilada, por 3 semanas até atingir uma relação líquido / sólido de 10. As amostras posteriormente são envelhecidas através de fotoradiação por um período equivalente a 3 anos de exposição solar.	---	- Zero anos de exposição solar – 4,6 mg Zn / kg peso seco - 3 anos de exposição solar – 45 mg Zn / kg peso seco
Dhir (2001)	Lixiviação de pedaços de pneus usados (diâmetro inferior a 10 mm), utilizando água destilada, com uma relação líquido / sólido de 10, por um período de 24h com uma agitação de 150 rpm.	32,1 mg/kg peso seco	174 mg/kg peso seco
Edeskär (2004)	Lixiviação de granulados de pneus usados, com água destilada, considerando uma relação líquido / sólido de 10, por um período de 24h a 10 rpm.	0,058 mg/kg peso seco	13,10 mg/kg peso seco

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES

Tendo sido levantada recentemente na comunidade científica a questão do potencial risco dos pneus reciclados poderem libertar alguns metais pesados, especialmente no caso do Cádmio, considerou-se importante avaliar se os pavimentos destinados a parques infantis, que incorporam granulados de pneus reciclados, originam ou não a libertação de metais pesados quando sujeitos à acção de determinados factores ambientais, nomeadamente chuva e radiação solar, em concentrações que possam colocar em risco o ambiente ou a saúde das crianças e jovens.

Para o efeito realizaram-se ensaios de lixiviação a cinco amostras de granulados de pneus usados com diferentes granulometrias (as mais utilizadas pelos fabricantes de pavimentos de parques infantis), produzidos por processos diferentes em duas empresas nacionais (uma pelo processo mecânico e outra pelo criogénico) e a amostras de pavimentos das cores mais utilizadas em parques infantis (cinzento e vermelho-tijolo).

Para testar o efeito da radiação solar na libertação de metais nos pavimentos infantis, as submeteram-se as amostras de pavimentos, que já tinham sido sujeitas a um primeiro ensaio de lixiviação, a um ensaio de fotoradiação, seguindo-se um novo ensaio de lixiviação e análise dos metais presentes no eluato.

Os primeiros ensaios de lixiviação revelaram que as concentrações de Cd, Cr, Pb e Sn, quer nas amostras de granulados quer nas amostras de pavimentos, são praticamente insignificantes ou nulas, pelo que, relativamente a estes metais, não existe qualquer risco para a saúde das crianças que brincam em parques infantis que utilizam este tipo de pavimentos. Já em relação ao Zn e ao Cu, foram detectadas pequenas concentrações em praticamente todas as amostras. No caso do Zn os valores variaram entre os 0,257 e os 5,783 mg/kg peso seco, e no caso do Cu, entre os 0,000 e os 0,045 mg/kg peso seco. Para ambos os metais, não se verificaram diferenças entre as amostras produzidas pelo processo mecânico e as produzidas pelo processo criogénico.

Estes valores encontram-se contudo muito abaixo das gamas de valores reportadas por Dhir *et al.* (2001) e Edeskär (2004). Estes autores obtiveram valores de 174 mg de Zn/kg peso seco e de 32,1 mg de Cu/kg peso seco, valores considerados pelos autores como seguros para a saúde.

A realização do ensaio da fotoradiação aos pavimentos, teve como intuito simular a degradação dos pavimentos ao longo dos anos. De acordo com Simm (2005) a acção da luz ultra-violeta (UV), degrada o carbono negro, usado para bloquear a componente UV da luz

solar, que tem como objectivo prolongar a vida da borracha. Nos pneus, o enxofre e o óxido de zinco evitam também a degradação da borracha. A perda destes elementos químicos, através de lixiviação, pode acelerar o processo de envelhecimento.

As concentrações de Cd, Cr, Pb e Sn, nos eluatos das amostras de pavimentos que foram sujeitas a fotoradiação, foram nulas, pelo que, relativamente a estes metais, não existe qualquer risco para a saúde ou para o ambiente. Já em relação ao Zn e ao Cu, foram detectadas concentrações significativas em todas as amostras de pavimentos. No caso do Zn os valores variaram entre os 9,212 e 18,658 mg/kg peso seco, para o pavimento vermelho-tijolo e cinzento respectivamente. No caso do Cu, os valores variam entre os 0,093 mg/kg peso seco para o pavimento vermelho-tijolo e os 0,033 mg/kg peso seco para o pavimento cinzento. Estes valores encontram-se contudo abaixo dos valores reportados no estudo de Verschoor (2007), cujas amostras de granulados de pneu usado foram submetidas a um ensaio de fotoradiação equivalente a 3 anos

Pelo facto do ensaio fotoradiação realizado nesta dissertação ter durado apenas 22 dias, o que equivale a cerca de 2 meses, não nos permite efectuar uma correspondência directa com resultados obtidos por Verschoor (2007). Contudo, e atendendo aos consideráveis aumentos que se verificaram nas concentrações de Zn e Cu dos primeiros para os segundos ensaios de lixiviação, acrescidos do facto do tempo de vida útil deste tipo de pavimentos ser cerca de 10-12 anos, é de prever que a acção continuada da acção da chuva e da radiação solar sobre os pavimentos dos parques infantis provoque a libertação de maiores quantidades destes metais, que poderão vir a constituir uma potencial fonte de contaminação do ambiente. Podem também constituir um risco para a saúde das crianças que accidental ou voluntariamente ingiram água contaminada com as escorrências destes pavimentos, embora este risco seja muito reduzido já que estes pavimentos têm uma boa drenagem.

Face aos resultados obtidos nesta investigação deduz-se da necessidade de se prosseguir com investigações semelhantes, com maiores períodos de simulação dos efeitos da chuva e da radiação solar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliapur (2004). *Relatório Anual*. Disponível em:
http://www.aliapur.fr/media/files/societe/PDF/Rapport_Aliapur_2004.pdf (consultado em 2 de Março de 2009).
- Aliapur (2009a). *Applications*. Disponível em:
<http://www.aliapur.fr/modules/movie/scenes/home/index.php?fuseAction=page&rubric=MotsClesApplications&article=ApplicationsMursSoutènement> (consultado em 6 de Setembro de 2009).
- Aliapur (2009b). *La société*. disponível em:
<http://www.aliapur.fr/modules/movie/scenes/home/index.php?fuseAction=page&rubric=societe> (consultado em 2 de Março de 2009).
- Biosafe (2009a). *Empresa*. Disponível em: <http://www.biosafe.pt/index.html> (consultado em 4 de Março de 2009).
- Biosafe (2009b). *Granulados de Borracha*. Disponível em: <http://www.biosafe.pt/index.html> (consultado em 4 de Março de 2009).
- Birkholz, Detlef A.; Belton, Kathy L.; Guidotti, Tee L. (2003). *Canadian Study. Toxicological Evaluation of Hazard Assessment of Tire Crumb for Use on Public Playgrounds*. Jour of Air and Waste Mgt Assoc. Disponível em: <http://www.shercomindustries.com/industries/birkholz-crumb%20safety%20paper.pdf> (consultado em 3 de Julho de 2009).
- Braga de Carvalho, Gardenia Maria (2007). *Contabilidade ambiental – Teórica e Prática*. Jurua Editora, 2007. ISBN 8-53-621572-0. pp. 35-36; 42.
- Brasil Tires Lda. (2009). *Saiba tudo sobre pneus*. Disponível em:
<http://www.braziltires.com.br/tudosobrepneus/pneus.html#corte> (consultada em 6 de Junho de 2009).
- Brown, David R. (2007). *Artificial Turf Exposures To Ground-Up Rubber Tires, Athletic Fields, Playgrounds, Gardening Mulch*, Environment & Human Health, Inc.. Disponível em:
http://www.ehhi.org/reports/turf/turf_report07.pdf (consultado em 20 de Fevereiro de 2009).
- Campos, Paulo S. (2006). *Aproveitamento Industrial da Borracha Reciclada de Pneus Usados (a reciclagem do resíduo 100103 da L.E.R.)*. Tese apresentada para a obtenção do Grau de Mestre em Gestão Ambiental. Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Minho.
- Castela, A. (1991). Queima de Pneus Usados na Fábrica de Cimento Maceira-Liz. Ambiente 91.

- Collins, K. J.; Jensen, A. C.; Mallinson, J. J.; Roenelle, V.; Smith, I. P. (2002). Environmental impact assessment of a scrap tyre artificial reef. *ICES Journal of Marine Science*. Reino Unido. pp. S243-A249.
- Decisão do Conselho 2001/509/CE de 26 de Junho de 2001. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*. (2001/07/06) L 183/37.
- Decisão do Conselho 2006/443/CE de 13 de Março de 2006. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*. (2006/07/04) L 181/1 - L 181/52.
- Decreto-Lei n.º 239/97 de 9 de Setembro. *Diário da República - I Série*. N.º 208 (1997/09/09) 4775 - 4780.
- Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto. *Diário da República - I Série-A*. N.º 176 (98/08/01) 3676 - 3722.
- Decreto-Lei n.º 111/2001. *Diário da República - I Série - A*. N.º 82 (2001/04/06) 2046-2050.
- Decreto-Lei n.º 80/2002 de 4 de Abril. *Diário da República - I Série*. N.º 79 (2002/04/04) 3128 - 3129.
- Decreto-Lei n.º 43/2004 de 2 de Março. *Diário da República - I Série*. N.º 52 (2004/04/02) 1108 - 1109.
- Decreto-Lei n.º 178/2006 de 5 de Setembro. *Diário da República - I Série*. N.º 171 (2006/09/05) 6526 - 6545.
- DGA (1995). *Relatório do Estado do Ambiente 1994*. Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais.
- Dhir, R. K.; Limbachiya, M. C.; Paine, K. A. (2001). *Recycling and reuse of used tyres*. Proceedings of the International Symposium Organised by the Concrete Technology Unit. University of Dundee and held at the University of Dundee. Thomas Telford. Scotland. pp. 136-137.
- Directiva 91/689/CEE do Conselho de 12 de Dezembro de 1991, relativa aos resíduos perigosos. *Jornal Oficial* n.º L 377 de 31/12/1991 pp. 0020 - 0027.
- Directiva do Conselho 1999/31/CE de 26 de Abril. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*. (1999/07/16) L 182/1 - L 182/19.
- Directiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Novembro de 2008. *Jornal Oficial da União Europeia*. (2008/11/22) L 312/3-L 312/30.
- Ecolabel (2009). *About Nordic Ecolabelling of Vehicle Tyres, Version 3.0*. Disponível em: <http://www.ecolabel.dk/NR/rdonlyres/578B0618-73E9-4EFB-9D27-D5000D95CDD4/0/Backgrounddocument.pdf> (consultado em 27 de Junho de 2009).

- Edeskär, Tommy (2004). *Technical and Environmental Properties of Tyre Shreds Focusing on Ground Engineering Applications*. Disponível em: <http://epubl.luth.se/1402-1536/2004/05/LTU-TR-0405-SE.pdf> (consultado em: 28 de Junho de 2009).
- Environment Agency (2007). *Waste Protocols Project: Tyre-derived rubber materials, A technical report on the manufacture of tyre-derived rubber materials*. Disponível em: http://qpyr1.dialoguebydesign.net/docs/QP_Tyres_TechnicalReport.pdf (consultado em 17 de Maio de 2009).
- ETRMA (2006a). *Missions*. Disponível em: <http://www.etrma.org/public/aboutmissions.asp> (consultado em 26 de Fevereiro de 2009).
- ETRMA (2006b). *Relatório Anual*. Disponível em: http://www.wastexchange.co.uk/documenti/tyres/ETRMA_ELTS_report_2006.pdf (consultado em 16 de Julho de 2009).
- ETRMA (2008). *History*. Disponível em: <http://www.etrma.org/public/abouthistory.asp> (consultado em 26 de Fevereiro de 2009).
- ETRMA (2009a). *Activities*. Disponível em: <http://www.etrma.org/default.asp> (consultado em 27 de Fevereiro de 2009).
- ETRMA (2009b). *Relatório Anual*. Disponível em: http://www.etrma.org/pdf/ETRMA_Annual_Report_2008-2009.pdf (consultado em 11 de Julho de 2009).
- FAC (2009). *Produtos*. Disponível em: <http://www.foxautocenter.com.br/index.php> (consultado em 6 de Junho de 2009).
- Ferreira, Luís; Menezes, João (2005). Reconfiguração da cadeia logística inversa de reciclagem de pneus usados em Portugal. *Revista Portuguesa e Brasileira de Gestão*. Lisboa: INDEG-ISCTE. Vol. 4 N.º 3. pp. 44-57.
- FLGaspar (2007a). *Empresa*. Disponível em: <http://www.flgaspar.pt/> (consultado em 12 de Maio de 2009).
- FLGaspar (2007b). *Mobiliário urbano e paisagístico*. Disponível em: <http://www.flgaspar.pt/> (consultado em 12 de Maio de 2009).
- Granada (2006). *Legislação*. Disponível em: <http://www.granada.org/inet/wordenzanz.nsf/wwwtod/21A6?Opendocument> (consultado em 10 de Julho de 2009).

- Hau, Jorge; Archer, Egan; Boyarkina, Nadia (2008). Reprocessing options for large diameter tyres. *Waste & Resources Action Programme*. Oxon.
- Kamimura, Eliane (2002). *Potencial de Utilização dos Resíduos de Borracha de Pneus pela Indústria da Construção Civil*. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- KEMI (2006). *Synthetic turf from a chemical perspective – a status report*. KEMIKALIEINSPEKTIONEN. Swedish Chemical Inspectorate. Sundbyberg.
- Krömer, Silke; Kreipe, Eckhard; Reichenback, Diethelm; Stark, Rainer (1999). *Life Cycle Assessment of a Car Tire*. Continental. Disponível em: http://www.conti-online.com/generator/www/com/en/continental/portal/themes/esh/life_cycle_assessments_en/download/life_cycle_assessment_en.pdf (consultado em 16 de Julho de 2009).
- Moura, Benjamim do Carmo (2006). *Logística Inversa: Desafios e Oportunidades*. Disponível em: http://web.esce.ips.pt/departamentos/eg/Publica%C3%A7%C3%B5es/bmoura_ENGI_06.pdf (consultado em 12 de Julho de 2009).
- Netresíduos (2008). *Recipneu*. Disponível em: <http://www.netresiduos.com/cir/contactos/fichas/ecipneu.htm> (consultado em 11 de Dezembro de 2008).
- Oliveira, J.F. Santos (2004). *Gestão ambiental*. Lidel – edições técnicas, Lda. ISBN – 13: 978-972-757-274-8. pp. 179-182.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (2006). *Improving recycling markets. Edição ilustrada*. OECD Publishing. ISBN 926-402-957-5. pp. 136-139.
- Portaria n.º 209/2004 de 3 de Março. *Diário da República - I Série-B*. n.º 53 (2004/03/03) 1188 – 1206.
- PYReco (2009). *The environmental effect of the pyrolysis process is substantial*. Disponível em: <http://www.pyreco.com/Content.asp?Content=Environment-&ID=13> (consultado em 3 de Julho de 2009).
- Rapra Technology Limited (1994). *Tyrettech 94: Papers from a Two-day Conference: 24th-25th*. Edição ilustrada. iSmithers Rapra Publishing. 1994. ISBN: 185-957-018-6. pp. paper 15 page 2.
- Recipneu (2009a). *Empresa*. Disponível em: <http://www.recipneu.com/> (consultado em 4 de Março de 2009).
- Recipneu (2009b). *Tecnologia*. Disponível em: <http://www.recipneu.com/> (consultado em 4 de Março de 2009).

- Recipneu (2009c). *Produtos*. Disponível em: <http://www.recipneu.com/> (consultado em 4 de Março de 2009).
- Reisman, Joel I.; Lemieux, Paul M. (1997). *Air Emissions from Scrap Tire Combustion*. Environmental Protection Agency. Disponível em: www.epa.gov/ttn/catc1/dir1/tire_eng.pdf (consultado em 17 de Maio de 2009).
- Rietschel, Robert L.; Fowler, Joseph F.; Fisher, Alexander A. (2008). *Fisher's Contact Dermatitis*. Edição ilustrada. Editora PMPH-USA. 2008. ISBN 155-009-378-9. pp. 581-584.
- RMA (2008). *Review of the Human Health & Ecological Safety of Exposure to Recycled Tire Rubber found at Playgrounds and Synthetic Turf Fields*- Rubber Manufacturers Association and ChemRisk, Inc.. Disponível em: <http://www.stopmulching.com/RMA%20Lit%20Review%20Rubber%20Playground%20and%20Turf.pdf> (consultado em 26 de Junho de 2009).
- Santos, Ana Letícia (2002). *Plano de Gerenciamento do Pneu-Resíduo: Metodologia*. Tese apresentada para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Saneamento e Ambiente. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo.
- SDAB (1994). *Life cycle assessment*. Disponível em: http://www.svdab.se/Pdf/used_tyres.pdf (consultado em 20 de Julho de 2009).
- Shulman, V. L. (2004). *Tyre Recycling*. European Tyre Recycling Association. Edição de RAPRA Technology Ltd. Shropshire UK. ISBN: 185-957-489-0. pp.9.
- Signus (2006). *Memoria*. Disponível em: http://www.signus.es/Portals/0/SignusMemoria_2006.pdf (consultado em 17 de Julho de 2009).
- Signus (2007). *La Entidad Gestora, Antecedentes*. Disponível em: <http://www.signus.es/LaEntidadGestora/Antecedentes/tabid/220/Default.aspx> (consultado em 16 de Julho de 2009).
- Signus (2008). *Relatório Anual*. Disponível em: <http://www.signus.es/Portals/0/archivos%20pdf/MEMORIA%20SIGNUS%202008.pdf> (consultado em 11 de Julho de 2009).
- Simm, JD (2005). *Sustainable Re-use of Tyres in Port, Coastal and River Engineering - Guidance for planning, implementation and maintenance*. Report SR 669. Release 1.0. HR Wallingford Limited.

- Specht, Luciano Pivoto (2004). *Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus*. Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Suau, Cristian; Ayala, Fernando (2006). *Tyre Space Elastic Building Frames Applied in Urban and Rural Environments*. PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture. Geneva. Switzerland.
- Súri, Marcel; Huld, Thomas A.; Dunlop, Ewan D.; Cebecauer (2006). *European Commission - DG Joint Research Centre*. Institute for Environmental and Sustainability Renewable Energy Unit. TP 450, I – 21020 Ispra (VA). Italy.
- Tosini, Maria de Fátima (2007). *Risco ambiental para as instituições financeiras*. Annablume (2007). ISB: 8574196835. pp. 29-31.
- U.S. EPA (2007). *Terms of Environment: Glossary, Abbreviations and Acronyms*. Disponível em: <http://www.epa.gov/glossary/cterms.html> (consultado em 10 de Setembro 2009).
- UNEP (1999). *Basel convention, Technical guidelines on hazardous wastes: Identification and management of used tyres*. Basel Convention Series/SBC N.º 99/008 Geneva. Disponível em http://Valorpneu.webuild.pt/output_efile.aspx?sid=25e436ae-c875-4f72-941d-d6e2ad3d19a5&cntx=yVUDPUbtN6HdizfxlHokaW3vDxKUFnrlzuXyWh5EaSztAflfq7TqCHgFFT Dm3Yh0RjIqUYnxc9AHkVe%2BoMMZzg%3D%3D&idf=476 (consultado em 26 de Fevereiro de 2009).
- Valorpneu (2005). *Relatório Anual & contas*, disponível em: <http://Valorpneu.webuild.pt/artigo.aspx?cntx=PYpUc5sscq1SZW1Nw3ycjUM36s1MK8jdl2QxC VNF9sYShFHcosz5qxAlTgto6sYT> (consultado em 26 de Fevereiro de 2009).
- Valorpneu (2006a). *Relatório Anual & contas*. Disponível em: <http://Valorpneu.webuild.pt/artigo.aspx?cntx=PYpUc5sscq1SZW1Nw3ycjUM36s1MK8jdl2QxC VNF9sYShFHcosz5qxAlTgto6sYT> (consultado em 26 de Fevereiro de 2009).
- Valorpneu (2006b). *Newsletter quadrimestral da Valorpneu, n.º 02*. Disponível em: http://Valorpneu.webuild.pt/output_efile.aspx?sid=14206a53-27a4-4f29-945e-f09f6715b125&cntx=xxCBJty7JUdc9gQ1s1tRZgTSdr2pVMUmYIrMmHuTjS5pa%2FzEbAa8c1YLJIDlszbIXeaMa5zffbhphNAD2l0CAA%3D%3D&idf=200 (consultado em 26 de Fevereiro de 2009).

- Valorpneu (2007a). *Relatório Anual & contas*. Disponível em:
<http://Valorpneu.webuild.pt/artigo.aspx?cntx=PYpUc5sscq1SZW1Nw3ycjUM36s1MK8jdl2QxCVNf9sYShFHcosz5qxAITgt06sYT> (consultado em 26 de Fevereiro de 2009).
- Valorpneu (2007b). *Newsletter quadrimestral da Valorpneu, n.º 04*. Disponível em:
http://Valorpneu.webuild.pt/output_efile.aspx?sid=1f28c9fb-b576-40f9-9156-01bbc35ace63&cntx=HwjK2tSzBZFbP2sqy4GZi4ttOEW%2BHXSB0tUDVTIKpJ9MNG8IMrM6fNHZdg7e8r3mmuJ2QIR5kd0NYO2OPOYIOw%3D%3D&idf=198 (consultado em 26 de Fevereiro de 2009).
- Valorpneu, (2008). *Relatório Anual & contas*. Disponível em:
http://Valorpneu.webuild.pt/output_efile.aspx?sid=bae1c9a2-5a12-4ddf-a0db-90fad4d36bd2&cntx=cF1JbiSI9wZzLWi9%2B0Ltj6CMepR%2BM9CSeR%2FDJMTwkzDQNrcjqcgputrDXEMt39ECr%2FvcjUY9tW6OKN3DQaJyAQ%3D%3D&idf=553 (consultado em 26 de Fevereiro de 2009).
- Valorpneu (2009a). *Componentes e Características de um Pneu*. Disponível em:
<http://Valorpneu.webuild.pt/artigo.aspx?cntx=PYpUc5sscq1SZW1Nw3ycjUM36s1MK8jdl2QxCVNf9sYShFHcosz5qxAITgt06sYT> (consultado em 26 de Fevereiro de 2009).
- Valorpneu (2009b). *Conheça o Sistema SGPU*. Disponível em: <http://Valorpneu.webuild.pt/> (consultado em 26 de Fevereiro de 2009).
- Valorpneu (2009c). *Sobre a Valorpneu*. Disponível em: <http://Valorpneu.webuild.pt/> (Consultado em 26 de Fevereiro de 2009).
- Valorpneu (2009d). *Soluções para Pneus Usados*. Disponível em: <http://valorpneu.webuild.pt/> (Consultado em 26 de Fevereiro de 2009).
- Verschoor, A. J. (2007). *Leaching of zinc from rubber infill on artificial turf (football pitches)*. RIVM report 601774001.
- Vieira, Nuno, (2008). *Apontamentos da cadeira de Gestão do Ambiente*. Faculdade de Ciências e Tecnologias, UNL.
- Waste.workinggroup mailing list (2008), consultada em 21 de Novembro de 2008.

ANEXOS

ANEXO I – MÉTODO ANALÍTICO - ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO ATÔMICA POR PLASMA ACOPLADO INDUZIDO

Este método permite a análise simultânea de vários elementos dando uma perspectiva qualitativa e quantitativa das amostras em estudo.

O princípio fundamental do Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Induzido (ICP-AES) consiste na utilização de um plasma como fonte de atomização. Define-se plasma (4º estado da matéria) como sendo um gás, inerte, neste caso o árgon, fortemente ionizado e electricamente neutro, composto por iões, electrões e átomos. A energia que mantém o plasma deriva de um campo magnético gerado por uma bobine de radiofrequência.

Através de um nebulizador, a amostra é introduzida no plasma de árgon, na forma de aerossol, onde a energia e o tempo de residência no plasma é tal que a amostra sofre uma sequência de processos sendo decomposta, atomizada e ionizada (Figura A.1.).

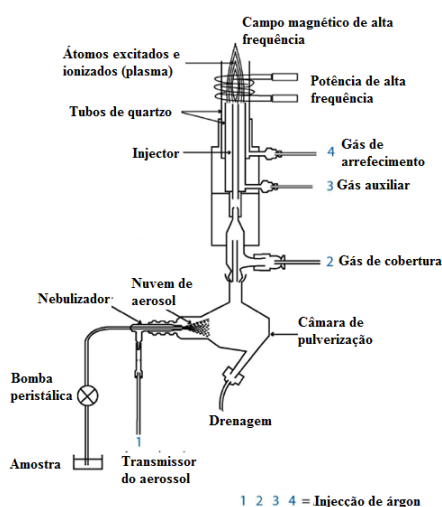


Figura A.1. Sistema de introdução da amostra para plasma radial.

No interior do plasma, a amostra é submetida a temperaturas na ordem dos 10 000 °C, levando à excitação dos electrões nos átomos, ocorrendo transições electrónicas que produzem emissões atômicas ou iónicas características de cada elemento, numa gama de comprimentos de onda dos 120 - 900 nm.

Estas linhas de emissão são filtradas e difractadas por um monocromador, sendo a intensidade de cada linha de emissão convertida por fotomultiplicadores em corrente

eléctrica proporcional à intensidade de radiação que, após correlação com a concentração do analito permitem a sua quantificação.

Software JY v5.4

O software tem uma base de dados de comprimentos de onda para todos os elementos da tabela periódica.

Depois de feita a selecção dos elementos a quantificar, faz-se uma avaliação semi-quantitativa das concentrações existentes nas amostras a analisar de modo a podermos escolher as linhas de emissão mais apropriadas, com melhor sensibilidade e com menos interferências (Figura A.2.). Esta análise faz-se por comparação da intensidade máxima obtida para uma solução de concentração conhecida (padrão), para uma amostra e para o branco. É assim possível definir quais as diluições a aplicar às amostras, se necessário e os parâmetros a utilizar. Para todos os elementos são determinados os limites de detecção.

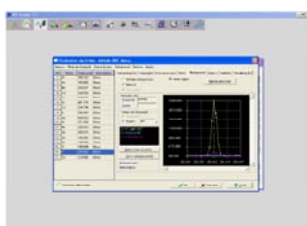


Figura A.2. Espectro obtido da análise semi-quantitativa.

A partir deste estudo, determinam-se as concentrações para a calibração e preparam-se os padrões a partir da diluição apropriada de padrões multi-elementares ou mono-elementares em igual concentração de ácidos que a solução de amostra (Figura A.3.).

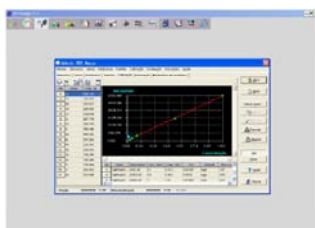


Figura A.3. Determinação da curva de calibração.

Uma vez que as curvas de calibração do ICP-AES são geralmente lineares ao longo de quatro a seis ordens de grandeza, é suficiente medir quatro concentrações.

Para os elementos com menor concentração, se existir interferência por parte da matriz, é utilizado o método de adição padrão. Por este método, a concentração x de um elemento

numa amostra é obtida por análise dessa mesma amostra à qual se adiciona o elemento a ser determinado e cujas concentrações vão aumentando sucessivamente como x , $2x$, $3x$, etc.

A intensidade medida é representada graficamente em função da concentração adicionada do elemento a ser determinado. Faz-se a extrapolação da linha até ao eixo da concentração. A distância entre este ponto e a intersecção dos dois eixos representa a concentração do elemento a ser determinado na solução da amostra. A curva de calibração obtida para esta amostra serve para quantificar o mesmo elemento em amostras de matriz semelhante.

Feita a calibração, faz-se a análise das amostras. Antes de se iniciar qualquer medição o aparelho é deixado a estabilizar durante trinta minutos de modo a garantir a estabilidade do plasma. São analisados padrões entre cada dez amostras, de modo a verificar a calibração (Figura A.4.).

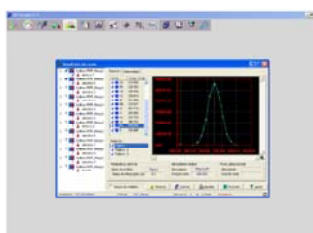


Figura A.4. Espectro definido na análise de uma amostra.

O método de análise é sequencial, à medida que a amostra vai sendo introduzida, sequencialmente vão sendo analisados os diversos elementos, por ordem dos comprimentos de onda.

A curva está definida na vizinhança do comprimento de onda, e obtém-se o máximo de intensidade através da aplicação de uma curva gaussiana. Esse valor de intensidade é automaticamente convertido, pela curva de calibração, na concentração do elemento a analisar.

São efectuadas três réplicas de cada elemento na amostra sendo calculada a média. Os dados são exportados para excel automaticamente.

ANEXO II – RESULTADOS DO PRIMEIRO ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO

No Quadro A.1, apresenta-se os resultados globais de pH, condutividade e temperatura de todas as amostras em estudo, num total de 135 tomas.

Quadro A.1. Resultados totais dos ensaios de lixiviação.

Amostra	Referência amostra	Peso do recipiente (g)	Peso da amostra seca (g)	Peso do recipiente + Peso da amostra seca (g)	Humidade (%)	Toma	pH	temperatura no momento de medição do pH (°C)	Condutividade (μS/cm)	momento de medição da condutividade (°C)
A	4,0 - 7,0 mm	1b 1	95,20	145,20	0,86	1	7,23	20,30	20,47	19,70
						2	7,43	19,50	20,05	19,70
						3	7,39	19,40	20,30	19,60
						4	7,26	19,50	20,51	19,70
						5	7,41	19,80	22,82	20,00
		1b 2	95,44	145,44	0,86	1	7,67	20,20	19,65	19,70
						2	7,53	19,50	19,80	19,60
						3	7,51	19,50	19,61	19,60
						4	7,54	19,50	20,09	19,70
						5	7,64	19,60	20,74	19,80
		1b 3	95,73	145,73	0,86	1	7,43	20,10	20,49	20,20
						3	7,41	19,80	20,74	20,00
						3	7,40	19,60	20,51	19,90
						4	7,29	20,10	20,39	19,80
						5	7,37	20,00	21,48	20,10
	0,8 - 2,5 mm	2b 1	95,44	145,44	0,74	1	7,66	19,80	36,70	19,70
						2	7,71	20,00	36,50	19,70
						3	7,67	19,90	36,30	19,80
						4	7,34	19,80	37,20	19,50
						5	7,46	20,00	38,90	19,90
		2b 2	90,76	140,76	0,74	1	7,70	19,80	38,40	19,90
						2	7,68	19,80	37,30	19,90
						3	7,62	19,90	37,70	20,00
						4	7,52	19,90	37,30	20,00
						5	7,98	20,30	39,80	20,40
		2b 3	94,56	144,56	0,74	1	7,52	20,30	36,50	20,20
						2	7,58	20,40	37,60	20,10
						3	7,53	19,90	39,90	19,60
						4	7,58	20,10	37,50	19,90
						5	7,61	20,90	39,60	20,50
	Branco	B1	95,81	95,81	-	1	5,81	19,40	3,19	18,30
						2	5,85	19,30	3,56	18,60
						3	5,67	19,10	3,76	18,80

		Amostra	Referência amostra	Peso do recipiente (g)	Peso da amostra seca (g)	Peso do recipiente + Peso da amostra seca (g)	Humidade (%)	Toma	pH	temperatura no momento de medição do pH (°C)	Condutividade (µS/cm)	momento de medição da condutividade (°C)
B			B2	91,00	0,00	91,00	-	4	5,93	20,00	4,82	19,40
								5	5,98	20,30	4,82	19,40
								1	6,20	20,70	4,25	20,50
								2	5,90	20,30	4,59	20,40
								3	6,04	19,80	7,37	19,90
								4	6,47	19,40	5,74	19,70
								5	6,09	19,50	5,53	19,80
	Pavimento Vermelho - Tijolo	P1.1	79,33	50,07	129,40	0,80		1	9,11	20,50	47,90	20,40
								2	9,20	20,90	48,00	20,60
								3	9,22	20,90	48,00	20,70
								4	9,28	20,50	49,80	20,10
								5	9,22	20,50	50,10	20,00
		P1.2	84,51	50,60	135,11	0,80		1	9,43	20,40	53,20	20,20
								2	9,32	20,90	52,70	20,40
								3	9,37	20,70	54,10	20,30
								4	9,40	20,40	53,40	20,40
								5	9,02	20,40	56,00	20,10
		P1.3	84,93	50,64	135,57	0,80		1	9,17	20,40	50,90	20,20
								3	9,13	21,00	49,90	20,50
								3	9,10	21,10	50,30	20,70
								4	9,20	20,80	50,90	20,40
								5	9,01	21,00	52,90	20,10
	7 - 9,5 mm	3b1	77,28	50,08	127,36	0,94		1	7,02	19,50	17,49	19,20
								2	7,13	19,50	17,04	19,10
								3	7,18	19,40	17,11	19,00
								4	7,26	19,50	17,18	19,10
								5	7,23	19,60	17,92	19,10
		3b2	84,34	50,10	134,44	0,94		1	7,43	19,90	15,07	19,80
								2	7,22	20,30	15,63	19,80
								3	7,27	20,30	15,18	19,80
								4	7,13	19,90	15,61	19,60
								5	7,13	19,80	14,95	19,30
		3b3	84,21	50,10	134,31	0,94		1	7,22	20,20	16,64	20,00
								2	7,24	20,50	16,58	20,00
								3	7,26	20,20	15,98	19,90
								4	7,20	20,00	16,03	19,60
								5	7,04	20,00	16,94	19,70
	Branco	B3	84,59	0,00	84,59	-		1	6,20	19,10	4,14	19,00
								2	6,10	19,10	3,54	18,80
								3	6,30	19,10	3,84	18,90

	Amostra	Referência amostra	Peso do recipiente (g)	Peso da amostra seca (g)	Peso do recipiente + Peso da amostra seca (g)	Humidade (%)	Toma	pH	temperatura no momento de medição do pH (°C)	Condutividade (µS/cm)	momento de medição da condutividade (°C)
C		B4	84,33	0,00	84,33	-	4	6,60	18,50	5,10	18,20
							5	6,49	18,40	5,07	18,20
							1	6,87	19,20	3,77	19,10
							2	6,44	19,50	4,42	19,30
							3	6,53	19,60	4,36	19,50
							4	6,44	19,20	3,89	19,10
							5	6,34	19,30	4,46	19,10
	DC 0814	1R1	77,31	50,00	127,31	0,00	1	6,97	20,60	88,40	20,50
							2	7,33	20,60	131,60	20,60
							3	7,42	20,20	54,20	19,90
							4	7,25	20,20	57,60	20,50
							5	7,32	20,40	56,30	20,60
		1R2	84,38	50,00	134,38	0,00	1	7,51	22,20	55,20	22,10
							2	7,37	22,30	54,90	22,00
							3	7,33	22,10	54,80	22,00
							4	7,33	21,60	54,80	21,10
							5	7,20	21,50	55,80	21,20
		1R3	84,25	50,00	134,25	0,00	1	7,64	22,40	54,90	22,00
							3	7,33	22,00	55,70	21,60
							3	7,35	22,00	54,90	21,60
							4	7,31	21,80	55,50	21,40
							5	7,24	21,70	56,80	21,40
	Pavimento Cinzento	P2.1	79,36	50,02	129,38	0,00	1	8,97	22,30	67,20	22,00
							2	8,83	22,40	66,10	22,10
							3	8,78	22,00	67,10	21,60
							4	8,71	22,10	65,30	21,60
							5	8,64	22,00	68,50	21,70
		P2.2	83,86	50,01	133,87	0,00	1	8,85	23,20	63,30	22,90
							2	8,80	22,90	62,60	22,60
							3	8,58	22,40	62,30	22,00
							4	8,66	22,50	62,50	22,10
							5	8,50	22,30	63,40	22,00
		P2.3	84,68	50,02	134,70	0,00	1	8,86	22,70	63,10	22,40
							2	8,89	22,60	65,80	22,30
							3	8,85	22,30	64,70	22,10
							4	8,85	22,00	65,40	21,70
							5	8,62	22,00	64,00	21,60
	Branco	B5	84,62	0,00	84,62	-	1	7,42	22,10	7,61	21,80
							2	7,46	22,10	7,79	22,20
							3	6,86	22,00	6,14	21,80

	Amostra	Referência amostra	Peso do recipiente (g)	Peso da amostra seca (g)	Peso do recipiente + Peso da amostra seca (g)	Umidade (%)	Toma	pH	temperatura no momento de medição do pH (°C)	Condutividade (µS/cm)	momento de medição da condutividade (°C)
D		B6	84,38	0,00	84,38	-	4	7,36	21,60	6,64	21,80
							5	6,73	21,50	6,82	21,60
							1	7,01	22,30	7,38	22,60
							2	7,02	22,20	6,34	22,30
							3	6,72	22,20	5,92	22,10
							4	6,54	22,00	5,77	21,80
							5	6,70	21,70	6,36	21,80
	DC-0308	2R2	84,87	50,00	134,87	0,89	1	7,45	20,80	43,00	20,50
							2	7,53	20,60	44,60	20,80
							3	7,44	20,60	42,50	20,30
							4	7,66	20,70	44,20	20,50
							5	7,53	20,20	43,30	20,40
		2R3	84,02	50,00	134,02	0,89	1	7,70	21,00	46,50	20,80
							3	7,74	21,00	47,40	21,00
							3	7,69	21,10	46,20	21,30
							4	7,65	21,40	45,30	21,00
							5	7,71	20,50	46,90	20,70
	Branco	B8	84,14	0,00	84,14	-	1	6,42	20,90	7,20	20,60
							2	7,21	21,00	7,00	21,60
							3	6,44	21,20	6,71	20,10
							4	6,32	20,60	6,55	20,50
							5	6,40	20,80	6,57	20,50

ANEXO III - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO ATÔMICA POR PLASMA ACOPLADO INDUZIDO DO PRIMEIRO ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO.

No Quadro A.2, apresenta-se os resultados globais de ICP-AES de todas as amostras em estudo, num total de 135 tomas.

Quadro A.2. Resultados totais das análises de ICP-AES do primeiro ensaio de lixiviação.

Amostra	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)	Sn (mg/L)	Zn (mg/L)
1b1.1						0,397
1b1.2						0,323
1b1.3						0,356
1b1.4				0,0197		0,269
1b1.5	0,0007					0,544
1b2.1						0,422
1b2.2						0,420
1b2.3			0,0104			0,413
1b2.4						0,398
1b2.5						0,377
1b3.1						0,552
1b3.2						0,576
1b3.3				0,0071		0,599
1b3.4			0,0017			0,591
1b3.5						0,864
2b1.1						0,617
2b1.2						0,632
2b1.3						0,606
2b1.4	0,0012					0,576
2b1.5	0,0008					0,617
2b2.1						0,591
2b2.2						0,548
2b2.3			0,0038			0,577
2b2.4						0,600
2b2.5						0,462
2b3.1			0,0042			0,604
2b3.2						0,629
2b3.3						1,060
2b3.4						0,690
2b3.5						0,593
B1.1						0,014
B1.2			0,0025			0,036
B1.3						0,013
B1.4						0,028

Amostra	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)	Sn (mg/L)	Zn (mg/L)
B1.5						0,011
B2.1						0,009
B2.2			0,0149			0,036
B2.3		0,0023				0,429
B2.4						0,013
B2.5						0,015
P1.1.1						0,051
P1.1.2						0,044
P1.1.3			0,0026	0,0042		0,059
P1.1.4			0,0024			0,043
P1.1.5			0,0026		0,0042	0,043
P1.2.1						0,046
P1.2.2						0,042
P1.2.3						0,069
P1.2.4			0,0020			0,048
P1.2.5						0,214
P1.3.1		0,0028	0,0024			0,036
P1.3.2			0,0026			0,030
P1.3.3			0,0031			0,037
P1.3.4						0,034
P1.3.5			0,0020			0,041
3b1.1			0,0039			0,246
3b1.2						0,300
3b1.3						0,264
3b1.4						0,256
3b1.5			0,0054			0,178
3b2.1						0,341
3b2.2						0,377
3b2.3			0,0044			0,368
3b2.4						0,258
3b2.5				0,0073		0,424
3b3.1		0,0007	0,0035			0,316
3b3.2						0,353
3b3.3			0,0024	0,0615		0,370
3b3.4						0,334
3b3.5						0,376
B3.1						0,035
B3.2						0,020
B3.3						0,019
B3.4			0,0043			0,026
B3.5						0,012
B4.1		0,0011				0,026

Amostra	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)	Sn (mg/L)	Zn (mg/L)
B4.2			0,0055	0,0208		0,017
B4.3						0,015
B4.4						0,018
B4.5						0,012
1R1.1			0,0057			5,397
1R1.2			0,0049			0,530
1R1.3			0,0047			0,503
1R1.4			0,0076			0,904
1R1.5			0,0112			0,435
1R2.1			0,0055			0,407
1R2.2			0,0051			0,414
1R2.3			0,0052			0,423
1R2.4			0,0048			0,427
1R2.5			0,0042			0,429
1R3.1			0,0033			0,369
1R3.2			0,0040			0,335
1R3.3			0,0075			0,356
1R3.4		0,0020	0,0041			0,373
1R3.5			0,0035	0,0107		0,399
P2.1.1						0,060
P2.1.2						0,057
P2.1.3						0,060
P2.1.4						0,061
P2.1.5		0,0017				0,080
P2.2.1						0,050
P2.2.2						0,049
P2.2.3						0,047
P2.2.4						0,062
P2.2.5			0,0027			0,055
P2.3.1			0,0093			0,046
P2.3.2			0,0032	0,0111		0,050
P2.3.3			0,0036			0,047
P2.3.4			0,0028			0,051
P2.3.5			0,0029			0,046
B5.1			0,0028			0,026
B5.2			0,0060			0,048
B5.3			0,0020			0,019
B5.4			0,0030			0,022
B5.5			0,0024			0,014
B6.1			0,0028			0,024
B6.2			0,0022			0,023
B6.3			0,0043			0,021

Amostra	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)	Sn (mg/L)	Zn (mg/L)
B6.4						0,017
B6.5						0,014
2R2.1			0,0057			0,115
2R2.2	0,0015		0,0071	0,0045		0,118
2R2.3			0,0082			0,119
2R2.4			0,0046			0,148
2R2.5			0,0065			0,143
2R3.1			0,0044			0,111
2R3.2			0,0107	0,0053		0,114
2R3.3			0,0041			0,105
2R3.4			0,0155			0,106
2R3.5			0,0065			0,100
B8.1			0,0014			0,084
B8.2			0,0040			0,026
B8.3			0,0038		0,0115	0,072
B8.4			0,0032			0,028
B8.5			0,0018			0,018

Observações

Células em branco: elemento não detectado, inferior ao limite de detecção:

	Cd	Cr	Cu	Pb	Sn	Zn
Limites de detecção:	0.5 µg/L	1.0 µg/L	1.5 µg/L	3.5 µg/L	2.5 µg/L	0.2 µg/L

Nos tópicos seguintes são dados as respectivas intensidades, concentrações e regressões lineares, dos metais em análise.

- Cádmio

Quadro A.3. Valor de intensidade e concentração do Cd do primeiro ensaio de lixiviação.

Intensidade	Concentração (mg/L)
6 802	0,00
50 922	0,01
139 514	0,025
286 422	0,05
572 794	0,10
1 457 558	0,25
2 967 175	0,50
5 818 229	1,00

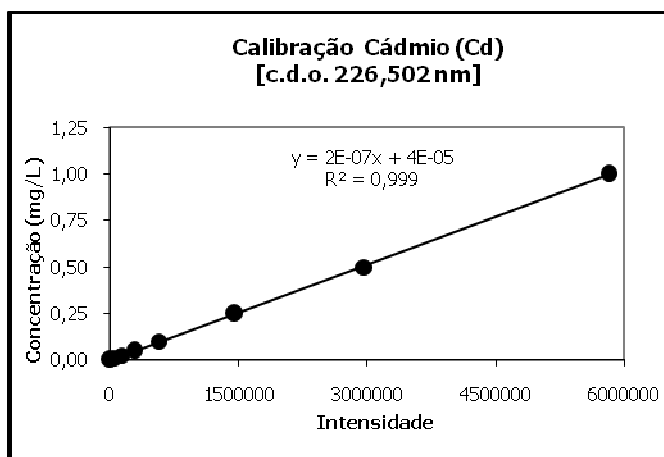


Figura A.5. Regressão linear para a calibração do Cd do primeiro ensaio de lixiviação.

- Crômio

Quadro A.4. Valor de intensidade e concentração do Cr do primeiro ensaio de lixiviação.

Intensidade	Concentração (mg/L)
691	0,00
28 340	0,01
54 002	0,025
115 325	0,05
218 263	0,10
548 395	0,25
1 097 357	0,50
2 171 260	1,00

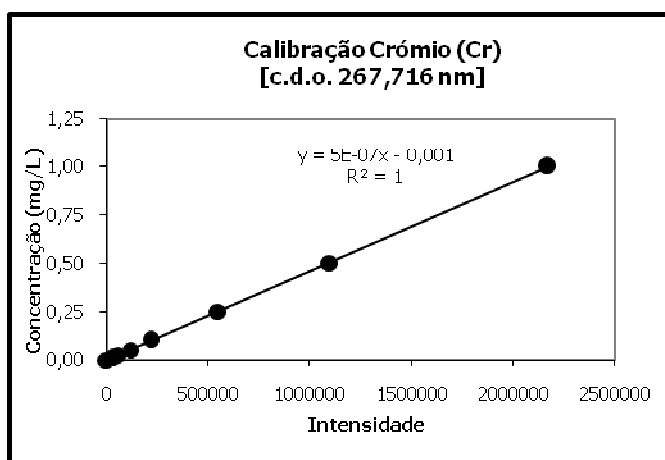


Figura A.6. Regressão linear para a calibração do Cr do primeiro ensaio de lixiviação.

- Cobre

Quadro A.5. Valor de intensidade e concentração do Cu do primeiro ensaio de lixiviação.

Intensidade	Concentração (mg/L)
3 101	0,00
12 774	0,01
46 426	0,025
75 727	0,05
153 591	0,10
386 460	0,25
763 208	0,50
1 547 347	1,00

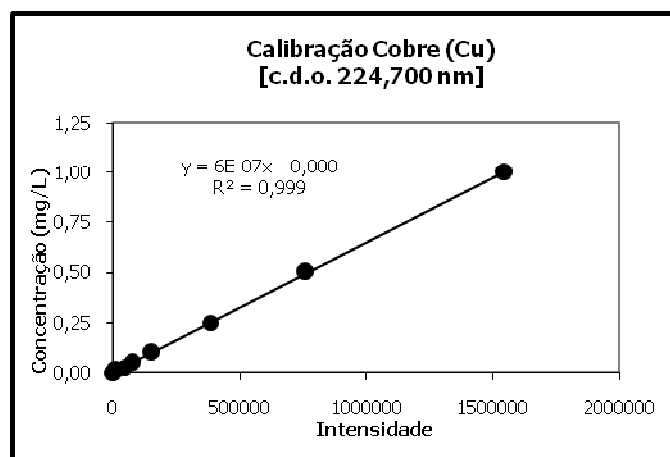


Figura A.7. Regressão linear para a calibração do Cu do primeiro ensaio de lixiviação.

- Chumbo

Quadro A.6. Valor de intensidade e concentração do Pb do primeiro ensaio de lixiviação.

Intensidade	Concentração (mg/L)
3 232	0,00
7 211	0,01
8 942	0,025
15 989	0,05
39 535	0,10
97 326	0,25
196 891	0,50
381 567	1,00

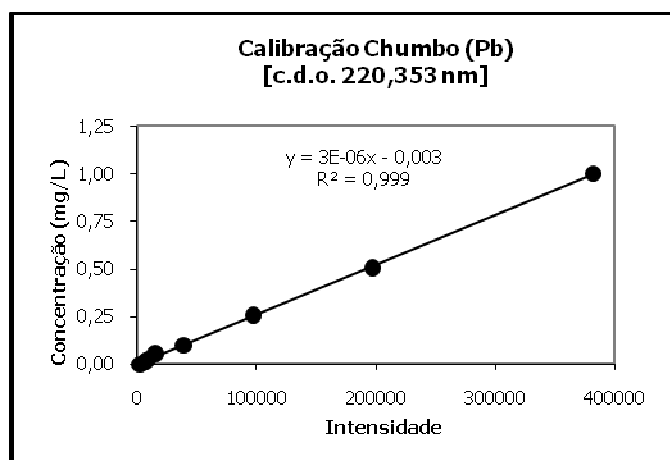


Figura A.8. Regressão linear para a calibração do Pb do primeiro ensaio de lixiviação.

- Estanho

Quadro A.7. Valor de intensidade e concentração do Sn do primeiro ensaio de lixiviação.

Intensidade	Concentração (mg/L)
101	0,00
769	0,01
3 830	0,025
9 390	0,05
20 819	0,10
55 492	0,25
112 805	0,50
229 089	1,00

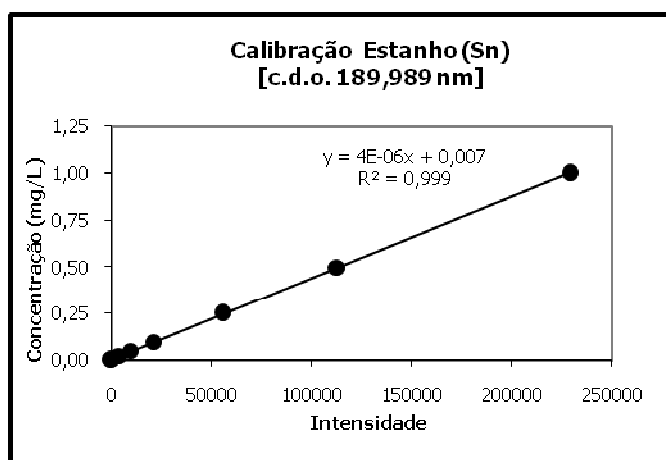


Figura A.9. Regressão linear para a calibração do Sn do primeiro ensaio de lixiviação.

- Zinco

Quadro A.8. Valor de intensidade e concentração do Zn do primeiro ensaio de lixiviação.

Intensidade	Concentração (mg/L)
36 255	0,00
121 249	0,01
242 161	0,025
477 228	0,05
905 837	0,10
2 224 529	0,25
4 541 442	0,50
8 894 809	1,00

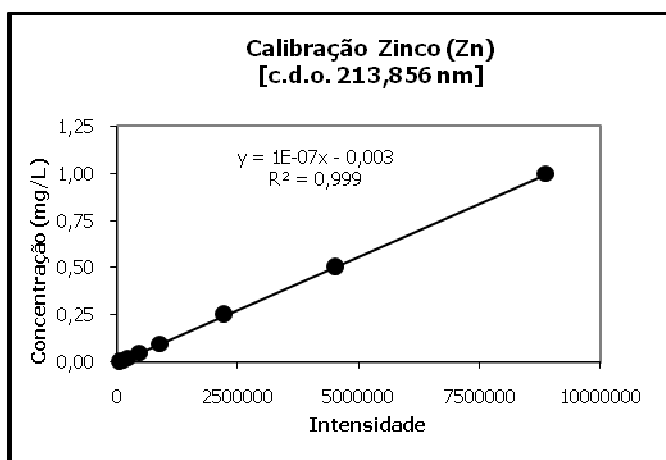


Figura A.10. Regressão linear para a calibração do Zn do primeiro ensaio de lixiviação.

ANEXO IV – RESULTADOS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS METAIS ANALISADOS POR ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO ATÔMICA POR PLASMA ACOPLADO INDUZIDO DO PRIMEIRO ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO

No Quadro A.9, apresenta-se os resultados das análises estatísticas globais dos metais de todas as amostras em estudo, num total de 135 tomas.

Quadro A.9. Resultados estatísticos dos metais pesados do primeiro ensaio de lixiviação.

Amostra	Referência amostra	Toma	Cu (mg/L)	Cu Média	Cu Desvio Padrão	Cu-final (mg/L)	Zn (mg/L)	Zn Média	Zn Desvio Padrão	Zn-final (mg/L)
A	4,0 - 7,0 mm	1b 1	1				0,3966			
			2				0,3228			
			3				0,3564			
			4				0,2690			
			5							
		1b 2	1				0,4218			
			2				0,4198			
			3				0,4130	0,4378	0,1072	0,4205
			4				0,3977			
			5				0,3770			
		1b 3	1				0,5518			
			3				0,5760			
			3				0,5989			
			4				0,5907			
			5							
	0,8 - 2,5 mm	2b 1	1				0,6171			
			2				0,6322			
			3				0,6063			
			4				0,5756			
			5				0,6174			
		2b 2	1				0,5908			
			2				0,5484			
			3				0,5772	0,5956	0,0526	0,5783
			4							
			5				0,4622			
		2b 3	1				0,6043			
			2				0,6288			
			3							
			4				0,6899			
			5				0,5927			
Branco	B1	1					0,0143			
		2						0,0173	0,0095	

	Amostra	Referência amostra	Toma	Cu (mg/L)	Cu Média	Cu Desvio Padrão	Cu-final (mg/L)	Zn (mg/L)	Zn Média	Zn Desvio Padrão	Zn-final (mg/L)
			3					0,0131			
			4					0,0278			
			5					0,0105			
		B2	1					0,0086			
			2					0,0360			
			4					0,0132			
			5					0,0150			
B	Pavimento Vermelho - Tijolo	P1.1	1		0,0025	0,0003	0,0025	0,0505	0,0432	0,0095	0,0259
			2					0,0443			
			3	0,0026							
			4	0,0024				0,0425			
			5	0,0026				0,0425			
		P1.2	1					0,0459			
			2					0,0420			
			3					0,0688			
			4					0,0475			
			5								
		P1.3	1	0,0024				0,0356			
			2	0,0026				0,0304			
			3	0,0031				0,0374			
			4					0,0335			
			5	0,0020				0,0411			
	7 - 9,5 mm	3b1	1	0,0039	0,0038	0,0012	0,0038	0,2455	0,3096	0,0612	0,2923
			2					0,2997			
			3					0,2636			
			4					0,2556			
			5	0,0054				0,1784			
		3b2	1					0,3405			
			2					0,3773			
			3					0,3677			
			4					0,2577			
			5								
		3b3	1	0,0035				0,3163			
			2					0,3527			
			3	0,0024				0,3698			
			4					0,3335			
			5					0,3764			
Branco	B3	1						0,0173	0,0046		
		2					0,0204				
		3					0,0185				
		4					0,0257				

	Amostra	Referência amostra	Toma	Cu (mg/L)	Cu Média	Cu Desvio Padrão	Cu-final (mg/L)	Zn (mg/L)	Zn Média	Zn Desvio Padrão	Zn-final (mg/L)							
			5					0,0121										
		B4	1															
			2					0,0172										
			3					0,0151										
			4					0,0181										
			5					0,0115										
C	DC 0814	1R1	1	0,0057	0,0054	0,0020	0,0022		0,4502	0,1408	0,4303							
			2	0,0049				0,5296										
			3	0,0047				0,5026										
			4	0,0076				0,9042										
			5	0,0112				0,4352										
		1R2	1	0,0055				0,4066										
			2	0,0051				0,4135										
			3	0,0052				0,4230										
			4	0,0048				0,4272										
			5	0,0042				0,4291										
		1R3	1	0,0033				0,3689										
			3	0,0040				0,3347										
			3	0,0075				0,3559										
			4	0,0041				0,3729										
			5	0,0035				0,3989										
		Pavimento Cinzento	P2.1	1								0,0044	0,0028	0,0012	0,0601	0,0524	0,0059	0,0325
				2											0,0570			
				3											0,0601			
	4				0,0611													
	5																	
	P2.2		1		0,0499													
			2		0,0489													
			3		0,0472													
			4															
			5		0,0547													
	P2.3		1	0,0093	0,0461													
			2	0,0032	0,0499													
			3	0,0036	0,0473													
			4	0,0028														
			5	0,0029	0,0461													
	Branco	B5	1	0,0028	0,0032	0,0013		0,0257	0,0199	0,0041								
			2	0,0060														
			3	0,0020				0,0187										
			4	0,0030				0,0216										
			5	0,0024				0,0144										
		B6	1	0,0028				0,0236										

	Amostra	Referência amostra	Toma	Cu (mg/L)	Cu Média	Cu Desvio Padrão	Cu-final (mg/L)	Zn (mg/L)	Zn Média	Zn Desvio Padrão	Zn-final (mg/L)
			2	0,0022				0,0226			
			3	0,0043				0,0212			
			4					0,0166			
			5					0,0143			
D	DC-0308	2R2	1	0,0057	0,0073	0,0035	0,0045	0,1147	0,1109	0,0067	0,0872
			2	0,0071				0,1179			
			3	0,0082				0,1189			
			4	0,0046							
			5	0,0065							
		2R3	1	0,0044				0,1112			
			3	0,0107				0,1137			
			3	0,0041				0,1051			
			4	0,0155				0,1059			
			5	0,0065				0,0999			
	Branco	B8	1	0,0014	0,0028	0,0012			0,0237	0,0052	
			2	0,0040				0,0255			
			3	0,0038							
			4	0,0032				0,0277			
			5	0,0018				0,0178			

ANEXO V – RESULTADOS DO SEGUNDO ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO

No Quadro A.10, apresenta-se os resultados globais de pH, condutividade e temperatura de todas as amostras em estudo, num total de 15 tomas.

Quadro A.10. Resultados totais do pH, condutividade e temperatura do segundo ensaio de lixiviação.

Amostra	Referência amostra	Peso do recipiente (Pr) (g)	Peso da amostra seca (PAs) (g)	Peso do recipiente (Pr) + Peso da amostra seca (PAs) (g)	Humidade (%)	Toma	pH	Temperatura no momento de medição do pH (°C)	Condutividade (us/cm)	Temperatura no momento de medição da condutividade (°C)
Pavimento Vermelho - Tijolo	1V1	83,61	50,04	133,65	0,80	1	7,57	22,30	106,60	22,60
						2	7,67	22,00	102,90	21,70
						3	7,66	21,90	103,20	21,60
	1V2	84,01	50,00	134,01	0,80	1	7,74	23,40	96,10	25,00
						2	7,67	23,40	94,50	25,00
						3	7,78	23,00	95,20	25,00
Pavimento Cinzento	1C1	84,12	50,09	134,21	0,75	1	7,48	22,90	115,60	22,60
						2	7,53	22,60	116,00	22,30
						3	7,61	22,70	115,20	22,20
	1C2	84,42	50,01	134,43	0,75	1	7,75	23,40	97,90	25,00
						2	7,55	22,90	97,60	25,00
						3	7,37	23,20	98,30	25,00
Branco	B9	84,36	0,00	84,36	-	1	9,71	21,30	65,00	21,60
						2	9,66	21,20	48,30	21,00
						3	9,71	20,90	68,50	21,20

ANEXO VI – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO ATÓMICA POR PLASMA ACOPLADO INDUZIDO DO SEGUNDO ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO

No Quadro A.11, apresenta-se os resultados globais de das análises de ICP-AES realizadas às amostras em estudo, num total de 15 tomas.

Quadro A.11. Resultados totais análises de ICP-AES do segundo ensaio de lixiviação.

Amostra	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)	Sn (mg/L)	Zn (mg/L)
B1.1			0,0124			0,0266
B1.2			0,0073			0,0131
B1.3			0,0081			0,0172
1c1.1			0,0087			2,2284
1c1.2			0,0105			1,8370
1c1.3			0,0093			2,0766
1c2.1			0,0164			1,7318
1c2.2			0,0097			1,6464
1c2.3			0,0208			1,7993
1v1.1			0,0139			0,7768
1v1.2			0,0138			0,7911
1v1.3			0,0195			0,8949
1v2.1			0,0166			0,9590
1v2.2			0,0175			1,1082
1v2.3			0,0299			1,1131

Observações

Células em branco: elemento não detectado, inferior ao limite de detecção:

	Cd	Cr	Cu	Pb	Sn	Zn
Limites de detecção:	0.5 mg/L	1.0 mg/L	2.0 mg/L	5.0 mg/L	5.0 mg/L	0.5 mg/L

Nos tópicos seguintes são dados as respectivas intensidades, concentrações e regressões lineares, dos metais em análise.

- Cádmio

Quadro A.12. Valor de intensidade e concentração do Cd do segundo ensaio de lixiviação.

Intensidade	Concentração (mg/L)
4 579	0,00
28 706	0,01
63 551	0,025
118 221	0,05
251 993	0,10
677 588	0,25
1 391 658	0,50
2 778 892	1,00

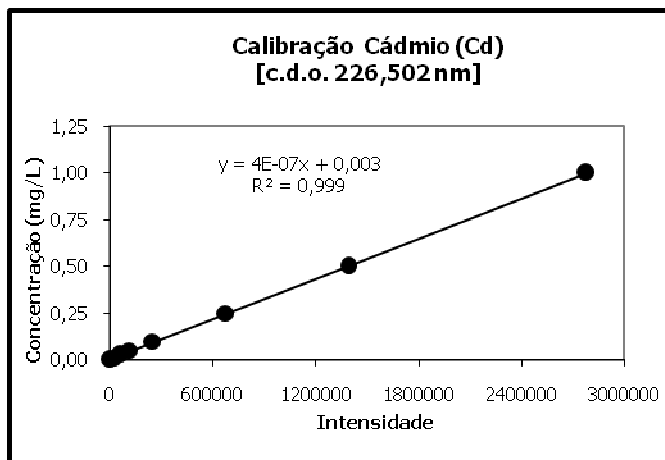


Figura A.11. Regressão linear para a calibração do Cd do segundo ensaio de lixiviação.

- Crómio

Quadro A.13. Valor de intensidade e concentração do Cr do segundo ensaio de lixiviação.

Intensidade	Concentração (mg/L)
7 495	0,00
17 181	0,01
32 201	0,025
63 821	0,05
141 287	0,10
310 673	0,25
607 206	0,50
1 209 822	1,00

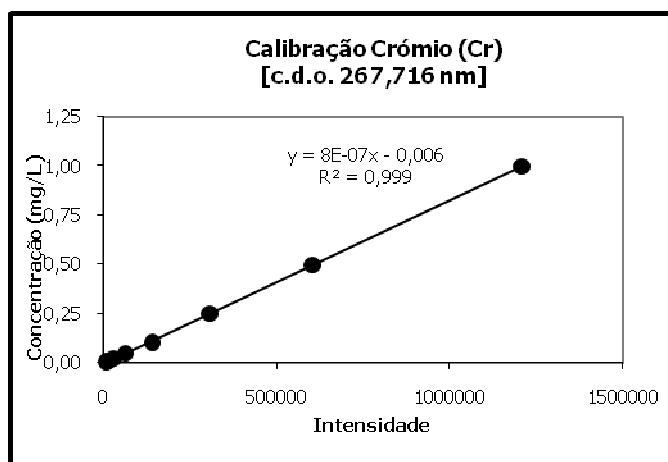


Figura A.12. Regressão linear para a calibração do Cr do segundo ensaio de lixiviação.

- Cobre

Quadro A.14. Valor de intensidade e concentração do Cu do segundo ensaio de lixiviação.

Intensidade	Concentração (mg/L)
11 786	0,00
20 914	0,01
32 873	0,025
58 400	0,05
103 895	0,10
229 724	0,25
453 012	0,50
915 927	1,00

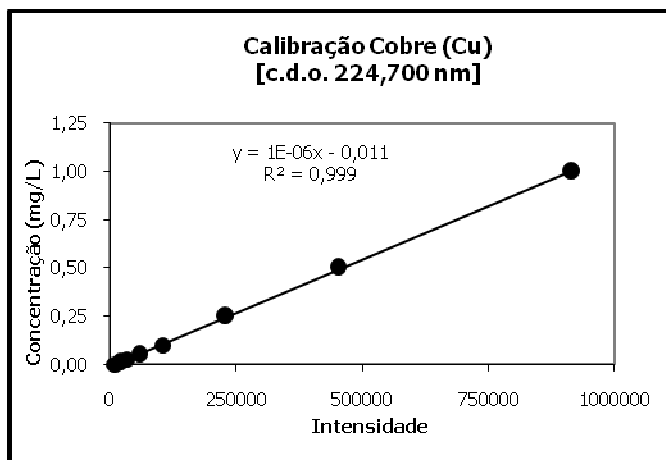


Figura A.13. Regressão linear para a calibração do Cu do segundo ensaio de lixiviação.

- Chumbo

Quadro A.15. Valor de intensidade e concentração do Pb do segundo ensaio de lixiviação.

Intensidade	Concentração (mg/L)
7 227	0,00
9 189	0,01
11 873	0,025
16 638	0,05
25 732	0,10
49 819	0,25
91 200	0,50
175 236	1,00

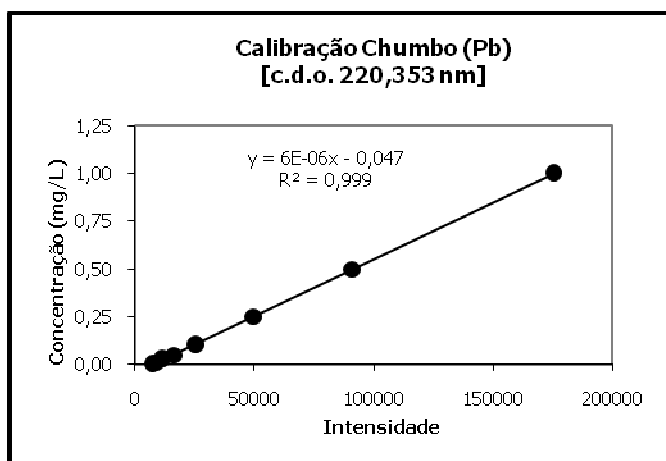


Figura A.14. Regressão linear para a calibração do Pb do segundo ensaio de lixiviação.

- Estanho

Quadro A.16. Valor de intensidade e concentração do Sn do segundo ensaio de lixiviação.

Intensidade	Concentração (mg/L)
2 519	0,00
3 435	0,01
4 939	0,025
7 353	0,05
11 707	0,10
24 947	0,25
46 948	0,50
90 927	1,00

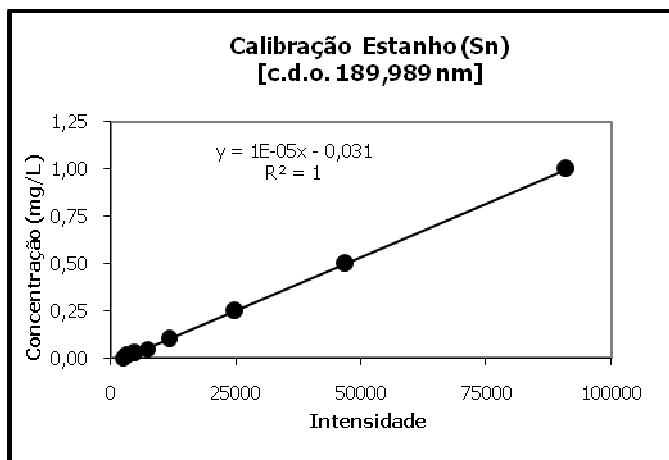


Figura A.15. Regressão linear para a calibração do Sn do segundo ensaio de lixiviação.

- Zinco

Quadro A.17. Valor de intensidade e concentração do Zn do segundo ensaio de lixiviação.

Intensidade	Concentração (mg/L)
1 0258	0,00
67 779	0,01
142 560	0,025
251 862	0,05
532 003	0,10
1 293 792	0,25
2 432 130	0,50
4 853 023	1,00

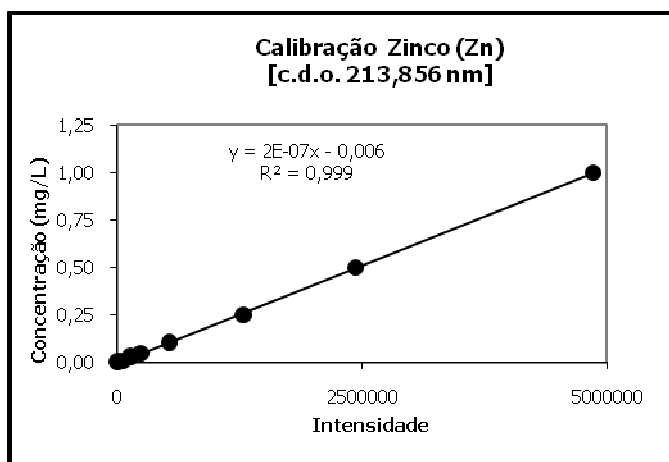


Figura A.16. Regressão linear para a calibração do Zn do segundo ensaio de lixiviação.